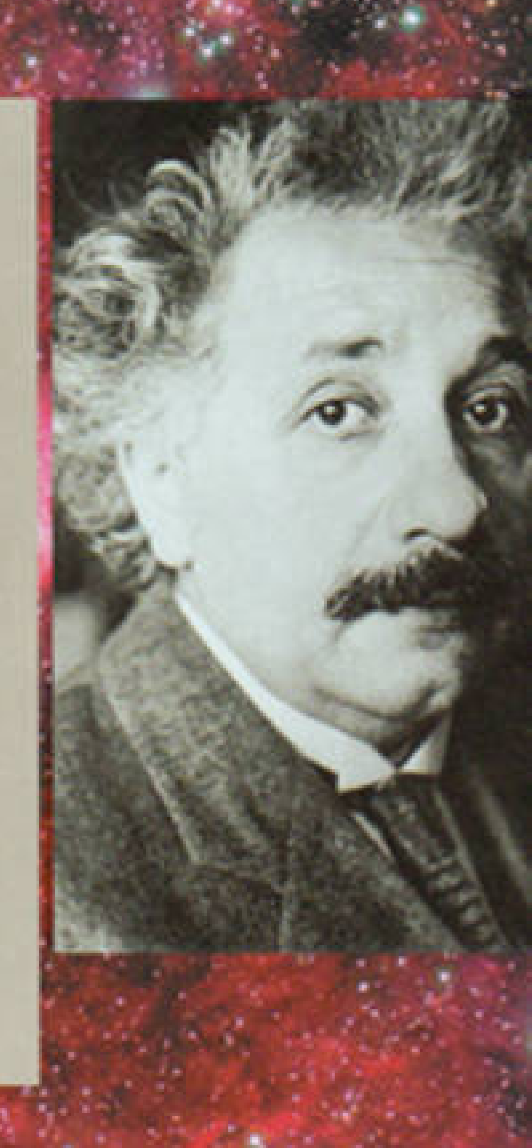


EL UNIVERSO DE EINSTEIN

Michio Kaku

Cómo la visión de Albert Einstein transformó nuestra comprensión del espacio y el tiempo





EL UNIVERSO
DE EINSTEIN

Cómo la visión de Albert Einstein transformó nuestra comprensión del espacio y el tiempo.

Michio Kaku
Traducción: Víctor Zabalza de Torres

Publicado por Antoni Bosch, editor
Manacor, 3 - 08023 Barcelona – España
Tel. (+S4) 93 206 07 30
info@antonibosch.com
www.antonibosch.com

Título original de la obra:
Einstein 's Cosmos
Hozo Albert Einstein's Vision Transformed Our Understanding of Space and Time

ISBN: 978-84-95348-17-3
Depósito legal: B-34.925.2010

Diseño de la cubierta: Compañía
Maquetación: JesMart
Impresión: Bookprint Digital

Impreso en España
Printed in Spain



Este libro está dedicado a Michelle y Alison

Índice

PREFACIO
UNA NUEVA MIRADA
SOBRE EL LEGADO DE
ALBERT EINSTEIN.

Genio, profesor despistado, padre de la relatividad, la figura mítica de Albert Einstein -cabellos flameando al viento, sin calcetines, con un suéter demasiado grande, pegado a su pipa e inconsciente de lo que le rodea— ha quedado indeleblemente marcada en nuestras mentes; “Como una estrella pop a la par con Elvis Presley y Marilyn Monroe, nos observa enigmáticamente desde postales, portadas de revistas, camisetas y posters. Un agente de Beverly Hills comercializa su imagen para anuncios de televisión. El habría odiado todo esto”, escribe su biógrafo Denis Brain.

Einstein está entre los mejores científicos de todos los tiempos, una figura dominante que, por sus contribuciones, está a la altura de Isaac Newton. No es de extrañar que la revista *Time* lo nombrara Persona del Siglo. Muchos historiadores lo han situado entre las cien personas más influyentes de los últimos mil años.

Dado su lugar en la historia, existen varias razones para reexaminar su vida. En primer lugar, sus teorías son tan profundas e importantes que las predicciones que hizo hace décadas todavía dominan los titulares, de manera que es vital que intentemos entender las raíces de estas teorías. A medida que una nueva generación de instrumentos que eran inconcebibles en los años veinte (p. ej., satélites, láseres, supercomputadores, nanotecnología, detectores de ondas gravitacionales) indagan los límites del universo y el interior del átomo, otros científicos están recibiendo premios Nobel gracias a las predicciones de Einstein. El Premio Nobel de 1993, por ejemplo, fue otorgado a dos físicos que confirmaron indirectamente la existencia de las ondas

gravitacionales, pronosticadas por Einstein en 1916, analizando el movimiento de estrellas dobles de neutrones. De manera similar, el Premio Nobel del año 2001 correspondió a tres físicos que confirmaron la existencia de los condensados de Bose-Einstein, un nuevo estado de la materia que existe cerca del cero absoluto, predicho por Einstein en 1924.

Otras predicciones están siendo confirmadas. Los agujeros negros, antaño considerados como un aspecto extraño de la teoría de Einstein, han sido identificados recientemente por el telescopio espacial Hubble y por el Very Large Array Radio Telescope. Los anillos y las lentes de Einstein no sólo han sido confirmados, sino que son un 'instrumento clave que los astrónomos utilizan para medir objetos invisibles en el espacio. Hoy día hasta los "errores" de Einstein se consideran importantes contribuciones a nuestro conocimiento del universo. En el año 2001, los astrónomos encontraron evidencia convincente de que la "constante cosmológica", hasta entonces considerada la mayor metedura de pata de Einstein, en realidad contiene la concentración de energía más elevada del universo y determinará el destino final del cosmos. Experimentalmente ha habido un "renacimiento" del legado de Einstein a medida que aparecen más evidencias que verifican sus predicciones.

En segundo lugar, los físicos están reconsiderando su herencia y especialmente su manera de razonar. Mientras recientes biografías examinan minuciosamente su vida privada en busca de pistas sobre los orígenes de sus teorías, los físicos son cada vez más conscientes de que las teorías de Einstein no están tan basadas en arcanas matemáticas (¡todavía menos en su vida sentimental!) como en simples y elegantes Imágenes físicas. Einstein comentaba a menudo que si una nueva teoría no está basada en una imagen física tan simple que un niño la pueda entender, dicha teoría probablemente carece de importancia.

En este libro, por tanto, estas imágenes, estos productos de la imaginación científica de Einstein, son un principio organizador formal alrededor del cual se describen

su manera de razonar y sus mayores logros.

La primera parte utiliza la imagen que a Einstein se le ocurrió por primera vez cuando tenía dieciséis años: como vería un rayo de luz si pudiera correr a su misma velocidad. Esta imagen, a su vez, fue probablemente inspirada por un libro infantil que había leído. Visualizando qué pasaría al correr junto a un rayo de luz, Einstein obvió la principal contradicción entre las dos grandes teorías de la época: la teoría de las fuerzas de Newton y la teoría de campos y luz de Maxwell. Einstein era consciente de que, en el proceso de resolución de esta paradoja, una de las dos grandes teorías —resultó ser la de Newton-debía caer. En cierta manera, toda la relatividad especial (que eventualmente descifraría el secreto de las estrellas y la energía nuclear) estaba incluida en esta imagen.

En la segunda parte consideramos otra imagen: Einstein visualizó los planetas como canicas rodando alrededor de una superficie curvada centrada en el Sol, a modo de ilustración de la idea de que la gravedad es debida a la distorsión del espacio y el tiempo. Sustituyendo las fuerzas de Newton por la curvatura de una superficie suave, Einstein obtuvo una visión revolucionaria y completamente nueva de la gravedad. En este nuevo marco, las “fuerzas" de Newton no son más que una ilusión causada por la propia curvatura del espacio. Las consecuencias de esta simple figura nos han conducido con el tiempo a los agujeros negros, el Big Bang, y el destino del universo.

La tercera parte no tiene imagen -esta sección trata del fracaso que supuso no lograr una imagen que le guiara hacia su “teoría unificada de campos”, teoría que hubiera permitido a Einstein formular los éxitos logrados tras dos mil años de investigación sobre las leyes de la materia y la energía-. La intuición de Einstein comenzó a Tallar, principalmente debido a que en la época no se conocía prácticamente nada sobre las fuerzas que gobernaban el núcleo y las partículas subatómicas.

Su inacabada teoría unificada de campos y su búsqueda durante treinta años

de la “teoría del todo” no fue en absoluto un fracaso —a pesar de que hasta hace poco así se creyera-. Sus contemporáneos la veían como una búsqueda sin sentido. El físico y biógrafo de Einstein Abraham País lamentaba: “Durante los últimos treinta años de su vida permaneció activo, pero su fama no habría disminuido, tal vez hasta habría aumentado, si se hubiera ido a pescar en vez de seguir investigando". En otras palabras, su legado podría haber sido todavía mayor si hubiera dejado la física en 1925 en vez de 1955.

A lo largo de la última década, con el desarrollo de una nueva teoría conocida como “teoría de las supercuerdas" o "teoría M”, los físicos han reconsiderado el trabajo tardío de Einstein a medida que la búsqueda de la teoría unificada de campos ha ido ganando relevancia en el mundo de la física moderna. La carrera por conseguir la teoría del todo se ha convertido en el objetivo de toda una generación de científicos jóvenes y ambiciosos. La unificación, que antaño se consideraba el cementerio de las carreras de los científicos senescentes, es hoy el tema dominante de la física teórica.

En este libro espero aportar una nueva y fresca mirada al trabajo pionero de Einstein y, a partir de simples imágenes físicas, obtener un retrato todavía más preciso de su legado. Sus revelaciones, a su vez, han potenciado la actual generación de experimentos revolucionarios que se están llevando a cabo en el espacio exterior y en laboratorios de física avanzada, y guían la intensa búsqueda de su sueño más preciado, la teoría del todo. Creo que éste es el enfoque de su vida y trabajo que a él más le hubiera gustado.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría agradecer la hospitalidad del personal de la Princeton University Library, donde se llevó a cabo parte de la investigación para este libro. La biblioteca tiene copias de todos los manuscritos y material original de Einstein. También me gustaría dar las gracias a los profesores V. P. Nair y Daniel Greenberger del City College de Nueva York por leer el manuscrito y hacer comentarios útiles y críticos. Además, mis conversaciones con Fred Jerome, que obtuvo el voluminoso expediente del FBI de Einstein, fueron muy útiles. Asimismo estoy agradecido a Edwin Barber por su apoyo y sus ánimos, y a Jesse Cohén por hacer valiosos comentarios editoriales y sugerir cambios que han mejorado el manuscrito y le han dado precisión. También estoy en deuda con Stuart Krichevsky, que ha sido el agente de muchos de mis libros de ciencia a lo largo de todos estos años.

PRIMERA PARTE

PRIMERA IMAGEN: CORRER JUNTO A UN RAYO DE LUZ

LA FÍSICA ANTES DE EINSTEIN

Una vez un periodista le preguntó a Albert Einstein, el mayor genio científico desde Isaac Newton, cuál era la fórmula del éxito. El gran pensador meditó durante un momento y respondió: "Si A es el éxito, diría que la fórmula es A = X + Y + Z, donde X es trabajo c Y ocio".

-¿Qué es Z? -preguntó el periodista.

—Mantener la boca cerrada —contestó.

Lo que los físicos, reyes y reinas, y el público en general encontraban entrañable eran su humanidad, generosidad y talento, ya fuera luchando por la causa de la paz mundial o desentrañando los misterios del universo.

Una multitud de niños se reunía en tomo al gran anciano de la física durante sus paseos por las calles de Princeton, y él les devolvía el favor meneando las orejas hacia ellos. A Einstein le gustaba charlar con un niño de cinco años que le acompañaba en sus paseos hacia el Instituto de Estudios Superiores. Durante uno de esos paseos, Einstein, de golpe, rompió a reír. Cuando su madre le preguntó sobre qué habían hablado, el niño le respondió: "Le he preguntado a Einstein si hoy había ido al lavabo". La madre quedó horrorizada, pero Einstein replicó: "Me gusta que haya alguien que me haga preguntas que sepa responder".

Como dijo el físico Jeremy Bernstein: "Todo aquel que ha tenido algún contacto con Einstein se ha ido con una sobrecogedora sensación de nobleza. La palabra que viene a la mente una y otra vez es humanidad.,... la simple y entrañable calidad de su carácter".

Einstein, que era cortés en igual medida con vagabundos, niños o reyes, también fue generoso con los científicos que le precedieron en el ilustre panteón de la

ciencia. A pesar de que los científicos, como todos los creadores individuales, pueden ser muy celosos de sus rivales y enzarzarse en ridículas disputas, Einstein se mantuvo fuera de su camino para encontrar los orígenes de las ideas que retomó de los gigantes de la física, incluyendo a Isaac Newton y James Clerk Maxwell, cuyos retratos decoraban su despacho. De hecho, el trabajo de Newton sobre mecánica y gravedad y el de Maxwell sobre luz formaban los dos pilares de la ciencia al principio del siglo xx. La suma de casi todos los conocimientos físicos de la época estaba compuesta por los logros de estos dos científicos.

Es fácil olvidar que, antes de la llegada de Newton, se desconocía completamente la razón del movimiento de los objetos celestes y la Tierra a través del espacio. Una de las opciones defendidas era que nuestro destino estaba determinado por los designios malévolos de espíritus y demonios. Incluso en las instituciones de aprendizaje más eruditas de Europa se discutía acaloradamente sobre brujería y superstición. La ciencia como la conocemos en nuestros días no existía.

Los filósofos griegos y los teólogos cristianos, en particular, sostenían que los objetos se movían siguiendo deseos y emociones de carácter casi humano. Según los seguidores de Aristóteles, los objetos en movimiento se frenaban eventualmente porque se "cansaban". Mantenían que los objetos caían al suelo porque “deseaban" estar unidos al suelo.

El hombre que pondría orden en este caótico mundo de espíritus era en cierta manera opuesto a Einstein en cuanto a temperamento y personalidad. Mientras que Einstein era generoso con su tiempo y siempre estaba dispuesto a escribir unas líneas para satisfacer a la prensa, Newton era notoriamente solitario, con tendencia a la paranoia. Profundamente receloso de los demás, mantenía amargas y largas disputas con otros científicos. Su reclusión fue legendaria: cuando fue miembro del Parlamento británico, durante la sesión de 1689-1690, su única intervención registrada ante el

augusto cuerpo fue cuando notó una corriente de aire y pidió a la mujer que cerrara la ventana. Según su biógrafo Richard S. Westfall, Newton era un "hombre torturado, con una personalidad extremadamente neurótica que estaba siempre, por lo menos durante su mediana edad, al borde del colapso".

Pero en asuntos de ciencia, Einstein y Newton eran verdaderos maestros, y compartían muchas características claves. Ambos podían pasar obsesivamente semanas y meses en un estado de concentración intensa hasta el punto del agotamiento físico y el colapso. Y ambos tenían la capacidad de visualizar en una sencilla imagen los secretos del universo.

En 1666, cuando Newton tenía veintitrés años, aniquiló los espíritus que regían el mundo aristotélico introduciendo una nueva mecánica basada en las fuerzas. Newton propuso tres leyes según las cuales los objetos se movían porque eran empujados por fuerzas que podían ser medidas con precisión y expresadas a través de simples ecuaciones. En vez de especular sobre los deseos de los objetos a medida que se movían, Newton podía calcular la trayectoria de todos los objetos, como hojas que caen, cohetes que surcan el cielo, balas de cañón, o nubes, sumando las fuerzas que actúan sobre ellos. Esto no era una mera cuestión académica, dado que ayudó a sentar la base de la Revolución Industrial, cuando el poder de las máquinas de vapor que movían enormes locomotoras y barcos construyó nuevos imperios. La construcción de puentes, presas y gigantes rascacielos ahora podía abordarse con confianza, dado que las fuerzas sobre cada ladrillo o barra podían ser calculadas. Tan aplastante fue la victoria de su teoría de fuerzas que fue justamente tratado como una celebridad durante su vida, llevando a Alexander Pope a exclamar:

> La naturaleza y sus leyes estaban escondidas en la noche, Dios dijo, ¡sea Newton! Y todo fue luz.

Newton aplicó su teoría de fuerzas al mismísimo universo proponiendo una nueva teoría de la gravedad. Le gustaba contar cómo volvió a la propiedad familiar en Woolsthorpe, en Lincolnshire, cuando la peste negra forzó la clausura de la Universidad de Cambridge. Un día, al ver caer una manzana de un árbol, se hizo la fatídica pregunta: ¿Si una manzana cae, cae también la Luna? ¿Es posible que la fuerza gravitacional que hace caer los objetos en la Tierra sea la misma que guía el movimiento de los objetos celestes? Pensar esto era una herejía, dado que se suponía que los planetas se movían sobre esferas fijas que obedecían leyes perfectas y celestiales, en contraste con las leyes del pecado y la redención que gobernaban las mundanas conductas de la humanidad.

En un golpe de perspicacia, Newton se apercibió de que podía unificar la física terrestre y la celestial en una sola Imagen. La fuerza que empujaba la manzana hacia el suelo debía ser la misma que llegaba hasta la Luna y guiaba su camino. Había dado con una nueva visión de la gravedad. Se imaginó a sí mismo sentado sobre el pico de una montaña, lanzando una piedra. Lanzándola cada vez con más fuerza, podía enviarla cada vez más lejos. Entonces dio el paso decisivo: ¿Qué pasaría si la lanzáramos con tanta velocidad que no volviera jamás? Se dio cuenta de que la piedra, cayendo continuamente bajo el efecto de la gravedad, no impactaría contra la Tierra sino que le daría la vuelta, eventualmente volviendo a su propietario y golpeándole en la nuca. En esta visión, sustituyó la piedra por la Luna, que caía constantemente pero nunca tocaba el suelo porque, como la piedra, se movía alrededor de la Tierra siguiendo una órbita circular. La Luna no descansaba sobre una esfera celeste, como mantenía la Iglesia, sino que estaba continuamente en caída libre, al igual que una piedra o una manzana, guiada por la fuerza de la gravedad. Esta fue la primera explicación del movimiento de los objetos del sistema solar.

Dos décadas más tarde, en el año 1682, un brillante cometa iluminó los cielos de Londres. Newton siguió cuidadosamente el movimiento del cometa con un telescopio reflector (uno de sus inventos) y descubrió que su trayectoria encajaba perfectamente

con sus ecuaciones si se suponía que estaba en caída libre e influenciado por la gravedad. Junto al astrónomo aficionado Edmund Halley pudo predecir con precisión cuándo el cometa (que más tarde se conocería como el cometa Halley) volvería, formulando la primera predicción jamás hecha sobre la trayectoria de los cometas. Las leyes de la gravedad que Newton usó para calcular la trayectoria del cometa Halley son las mismas que hoy utiliza la NASA para guiar sus sondas espaciales con pasmosa precisión más allá de Urano y Neptuno.

Según Newton, estas fuerzas actúan instantáneamente. Por ejemplo, si el Sol súbitamente desapareciera, Newton creía que la Tierra saldría despedida de su órbita instantáneamente y se congelaría en el espacio profundo. Todos en el universo sabrían que el Sol había desaparecido en el momento exacto. Por lo tanto es posible sincronizar todos los relojes para que avancen al mismo ritmo a lo largo y ancho del universo. Un segundo sobre la Tierra dura lo mismo que un segundo en Marte o en Júpiter. De la misma manera que el tiempo es absoluto, el espacio también lo es. Un patrón métrico no cambia de longitud en ningún lugar del universo. Los segundos y los metros son por lo tanto iguales independientemente del lugar donde estemos.

Es por esta razón que Newton basó sus ideas en la noción común de un tiempo y espacio absolutos. Para Newton, el espacio y el tiempo formaban un sistema de referencia absoluto con el que podemos evaluar el movimiento de todos los objetos. Si viajamos en un tren, por ejemplo, creemos que el tren se mueve mientras que la tierra se mantiene en reposo. Sin embargo, al observar los árboles pasar, podemos conjeturar que tal vez el tren está en reposo y son los árboles los que se mueven pasando ante nuestras ventanas. Dado que todo lo que hay en el tren parece estar en reposo, podemos plantearnos la pregunta de qué es lo que en realidad se mueve, ¿el tren o los árboles? Para Newton este sistema de referencia absoluto podía darnos la respuesta.

Las leyes de Newton fueron la base de la física durante casi dos siglos. Hacia finales del siglo XIX, a medida que inventos como el telégrafo y la bombilla

revolucionaban las ciudades europeas, el estudio de la electricidad aportó un concepto completamente nuevo para la ciencia. Para explicar las fuerzas misteriosas de la electricidad y el magnetismo, James Clerk Maxwell, un físico escocés de Cambridge, desarrolló durante la década de 1860 una teoría sobre la luz que no se basaba en fuerzas newtonianas, sino en un nuevo concepto llamado campos. Einstein escribió que el concepto de los campos" es el más profundo y provechoso que ha experimentado la física desde Newton".

Estos campos pueden ser visualizados espolvoreando limaduras de hierro sobre un papel. Si colocamos un imán bajo el papel, veremos cómo las limaduras se organizan mágicamente en un diseño muy similar a una telaraña, con líneas saliendo del Polo Norte hacia el Polo Sur. Alrededor de cualquier imán hay un campo magnético, una distribución invisible de líneas de fuerza que penetran todo el espacio.

La electricidad, a su vez, también crea campos. En las ferias científicas, los niños ríen cuando sus cabellos se erizan al tocar una fuente de electricidad estática. Los cabellos trazan las invisibles líneas de campo eléctrico que emanan de la fuente.

Estos campos son diferentes de las fuerzas estudiadas por Newton. Según éste, dichas fuerzas actúan instantáneamente en todo el espacio, de manera que una perturbación en un lugar se puede detectar al instante en todo el universo. La brillante observación de Maxwell fue que los efectos magnéticos y eléctricos no viajan instantáneamente, como las fuerzas newtonianas, sino que se toman su tiempo y viajan a velocidad finita. Su biógrafo Martin Goldman escribe: "La idea del tiempo de la acción magnética... parece habérsele ocurrido a Maxwell de manera súbita e inesperada". Maxwell demostró, por ejemplo, que si uno sacude un imán, pasa un tiempo antes de que las limaduras de hierro comiencen a moverse.

Imaginemos una telaraña vibrando bajo el efecto del viento. Una perturbación

como el viento crea en un punto una onda que se transmite a través de toda la telaraña. Los campos y las telarañas, a diferencia de las fuerzas, permiten a las vibraciones viajar a una velocidad determinada. Maxwell se propuso encontrar la velocidad a la que viajaban dichos efectos magnéticos y eléctricos, y utilizando esta idea llegó a uno de los descubrimientos más importantes del siglo xix: la resolución del misterio de la luz.

Maxwell conocía por el trabajo de Michael Faraday y otros que un campo magnético en movimiento puede crear un campo eléctrico y viceversa. Los generadores y motores que electrifican nuestro mundo son una consecuencia directa de este hecho. (Este principio se utiliza para iluminar nuestras casas. Por ejemplo, en una presa, el agua que cae hace girar una rueda, que a su vez hace girar un imán. El campo magnético en movimiento empuja los electrones de un cable, que entonces viajan a través de líneas de alto voltaje hasta los enchufes de nuestras casas. De manera similar, la electricidad que fluye de los enchufes crea un campo magnético que hace girar las palas del motor.)

El genio de Maxwell fue relacionar los dos efectos. Si un campo magnético cambiante puede crear un campo eléctrico y viceversa, entonces tal vez ambos pueden formar un movimiento cíclico, con campos eléctricos y magnéticos creándose mutuamente de manera continua y convirtiéndose el uno en el otro. Maxwell se apercibió rápidamente de que este diseño cíclico crearía un tren de campos magnéticos y eléctricos en movimiento, todos vibrando al unísono, cada uno volviéndose en el otro en una onda sin fin. Entonces calculó la velocidad de esta onda.

Para su sorpresa, descubrió que era la velocidad de la luz. Yendo más allá, y probablemente haciendo la afirmación más revolucionaria del siglo xix, dijo que era la luz. Maxwell anunció proféticamente a sus colegas: “Apenas podemos evitar concluir que la luz consiste en ondulaciones transversales del mismo medio que es la causa de los fenómenos magnéticos y eléctricos". Tras preguntarse durante siglos cuál era la naturaleza de la luz, los científicos lograron al fin descubrir sus más profundos secretos.

A diferencia de las fuerzas de Newton, de carácter instantáneo, estos campos se movían a una velocidad finita: la velocidad de la luz.

El trabajo de Maxwell fue codificado en ocho complicadas ecuaciones en derivadas parciales (conocidas como las “ecuaciones de Maxwell”), que todo físico e ingeniero electrónico ha tenido que memorizar durante el pasado siglo y medio. (Hoy en día se puede comprar una camiseta que contiene las ocho ecuaciones en todo su esplendor. En ella, les precede la frase “Al principio, Dios dijo...", y finaliza diciendo, "... y se hizo la luz".)

Para finales del siglo XIX, tan grandes fueron los éxitos experimentales de Newton y Maxwell que algunos científicos predijeron con confianza que estos dos pilares de la ciencia habían logrado responder todas las preguntas básicas del universo. Cuando Max Planck (fundador de la teoría cuántica) preguntó a su consejero si debía estudiar física, éste le respondió que debía cambiar de campo porque la física estaba básicamente acabada. De estos pensamientos se hizo eco el gran físico decimonónico Lord Kelvin, quien proclamó que la física estaba esencialmente completa, excepto por algunas pequeñas “nubes” en el horizonte que no se podían explicar.

Pero las deficiencias del mundo newtoniano eran más obvias con cada año que pasaba. Descubrimientos como el aislamiento del radio y la radiactividad de Marie Curie hacían zozobrar el mundo de la ciencia y dispararon la imaginación del público. Unas pocas onzas de esta sustancia extraña y luminosa podían de alguna manera iluminar una habitación a oscuras. Curie también demostró que cantidades aparentemente ilimitadas de energía podían provenir de una fuente desconocida del interior del átomo, desafiando la ley de conservación de la energía, según la cual la energía no se crea ni se destruye. Estas pequeñas “nubes” pronto engendrarían las dos grandes revoluciones paralelas del siglo XX, la relatividad y la teoría cuántica.

Lo que sin embargo era más embarazoso era que lodos los intentos de fundir

la mecánica newtoniana con la teoría de Maxwell fracasaron. La teoría de Maxwell confirmaba que la luz era una onda, pero entonces, ¿cuál era el medio que ondulaba? Los científicos sabían que la luz puede viajar en el vacío (de hecho viajaba millones de años luz desde las remotas estrellas a través del vacío del espacio exterior), pero dado que por definición el vacío es “nada”, dejaba en el aire la paradoja de que no había nada ondulando.

Hubo físicos newtonianos que intentaron dar respuesta a esta paradoja planteando que la luz estaba formada por ondas que vibraban en el invisible “éter”, un gas estacionario que llenaba completamente el universo. Se suponía que el éter era el sistema de referencia absoluto sobre el cual se podían medir todas las velocidades. Un escéptico podía decir que, dado que la Tierra se mueve alrededor del Sol y éste se mueve alrededor de la galaxia, es imposible determinar cuál de los dos está realmente moviéndose. Los físicos newtonianos respondían que el sistema solar se movía respecto al éter, de manera que se podía determinar cuál estaba realmente en movimiento.

Sin embargo, el éter comenzó a adquirir propiedades cada vez más extrañas y mágicas. Por ejemplo, los físicos sabían que las ondas viajan más rápido en medios más densos. Por tanto, las vibraciones del sonido tienen una velocidad más alta en el agua que en el aire. Sin embargo, dado que la luz viaja a una velocidad tan grande (300.000 kilómetros por segundo), implicaba que el éter tenía que ser extraordinariamente denso. ¿Pero cómo podía ser, si se suponía que el éter debía ser más ligero que el aire? Con el tiempo, el éter se convirtió en una sustancia casi mística: era completamente estacionario, ingrávido, invisible, con viscosidad nula, pero al mismo tiempo más resistente que el hierro e indetectable por cualquier instrumento.

Con la llegada del siglo XX las deficiencias de la mecánica newtoniana eran cada vez más difíciles de explicar. El mundo estaba listo para una revolución, pero ¿quién la lideraría? A pesar de que muchos físicos eran conscientes de los agujeros en la teoría

del éter, intentaban taparlos tímidamente sin salir del marco newtoniano. Einstein, sin nada que perder, fue capaz de dar con la clave del problema: las fuerzas de Newton y los campos de Maxwell eran incompatibles. Uno de los dos pilares de la ciencia debía caer. Cuando uno de estos lo hiciera, revocaría más de doscientos años de física y revolucionaría la manera de ver el universo y la propia realidad. La física newtoniana sería derrocada por Einstein con una imagen tan sencilla que hasta un niño la entendería.

LOS AÑOS DE JUVENTUD

El hombre que cambiaría para siempre nuestra visión del universo nació el 14 de marzo de 1879 en el pequeño pueblo de Ulm, Alemania. Hermann y Pauline Einstein estaban sumamente preocupados porque su hijo nació con la cabeza deformada y temían que hubiera secuelas mentales.

Los padres de Einstein eran judíos no practicantes de clase media que luchaban por sacar adelante su familia. Pauline era hija de un hombre relativamente rico: su padre, Julius Derzbacher (más tarde cambió su apellido por el de Koch), había amasado su fortuna tras dejar su trabajo de panadero y entrar en el negocio del tráfico de grano. Pauline era la figura culta de la familia Einstein, e insistió para que sus hijos estudiaran música, iniciando con ello un idilio de por vida entre Einstein y el violín. Hermann Einstein, en contraste con su suegro, tenía en su haber una deslucida carrera que se inició en el negocio de los colchones de plumón. Su hermano Jakob le convenció para que probara suerte en la naciente industria electroquímica. Los inventos de Faraday, Maxwell y Thomas Edison, que dominaban el poder de la electricidad, iluminaban ciudades en todo el mundo, y Hermann vio un porvenir construyendo dinamos e iluminación eléctrica. Aun así, el negoció resultó ser muy precario y las periódicas crisis financieras y bancarrotas forzaron a la familia a mudarse varias veces durante la infancia de Albert, incluyendo el traslado a Munich un año después de su nacimiento.

El joven Einstein aprendió tarde a hablar, tan tarde que sus padres temían que fuese retrasado. Pero finalmente habló, y lo hizo con frases enteras. Aun así, cuando ya tenía nueve años todavía no hablaba muy bien. Tan sólo tenía una hermana, Maja, dos años más joven que él. (Al principio Albert estaba desconcertado por la nueva presencia en la casa. Una de sus primeras frases fue: “¿Y dónde están las ruedas?”.) Ser la hermana pequeña de Albert no fue fácil, sobre todo porque él tenía la desagradable

costumbre de tirarle objetos a la cabeza. Más tarde ella se lamentaría: “Hace falta una cabeza dura para ser la hermana de un pensador”.

Al contrario de lo que dice el mito, Albert fue un buen alumno en la escuela, pero solamente en las áreas que le interesaban, como las matemáticas y la ciencia. El sistema escolar alemán obligaba a los alumnos a responder con preguntas cortas basadas en burda memorización -si no lo hacían así, corrían el peligro de ser golpeados dolorosamente en los nudillos-. El joven Albert hablaba lentamente, dudando y escogiendo sus palabras cuidadosamente. Distaba mucho de ser el alumno perfecto, desperdiciándose bajo un sistema autoritario y sofocante que anulaba la creatividad y la imaginación. Cuando su padre preguntó al director de la escuela a qué profesión debía dedicarse el joven Albert, éste le respondió: “No importa; jamás tendrá éxito se dedique a lo que se dedique”.

La conducta de Einstein se definió pronto. Era muy soñador, a menudo en las nubes o ensimismado en la lectura. Sus compañeros solían llamarle Biedermeier, que se puede traducir aproximadamente por pardillo. Un amigo recordaba que “los compañeros de clase consideraban a Albert extraño porque no mostraba interés por los deportes. Los profesores le consideraban tonto por ser incapaz de aprender las cosas de memoria y por su comportamiento raro”. A los diez años Albert ingresó en el Luitpold Gymnasium de Munich, donde su más penosa experiencia fue aprender griego clásico. Él se sentaba en su silla y sonreía enigmáticamente para esconder su aburrimiento llegó al extremo de que su profesor de griego clásico de séptimo curso, herr Joseph Degenhart, le dijo que sería mejor si sencillamente no asistía a clase. Ante la protesta de Einstein de que no hacía nada malo, el profesor respondió francamente: “Sí, tienes razón, pero te sientas ahí en la última fila y sonríes, y eso rompe el ambiente de respeto que un profesor necesita de su clase”.

Décadas después, Einstein curaría amargamente las cicatrices dejadas por los

métodos autoritarios de su escolaridad: “Es poco menos que un milagro que los métodos modernos de enseñanza no hayan estrangulado la sagrada curiosidad de la investigación, ya que esta delicada planta, además de estimulación, necesita principalmente libertad”.

El interés de Einstein por la ciencia fue muy prematuro, comenzando por su encuentro con el magnetismo, al que él llamaba su “primer milagro”. Su padre le había dado una brújula y quedó fascinado por el descubrimiento de que fuerzas invisibles podían mover objetos. “Experimenté tal maravilla cuando mi padre me enseñó una brújula con tan sólo cuatro o cinco años... todavía recuerdo... que dicha experiencia me marcó intensamente. Tenía que haber alguna cosa profundamente escondida detrás de las cosas”.

Aun así, cuando tenía aproximadamente once años, su vida dio un giro inesperado: se volvió devotamente religioso. Un familiar lejano le visitaba para guiar a Albert en la fe judía, y él se aferraba a ella de una manera entusiasta y casi fanática. Renunció a comer cerdo y hasta compuso algunas canciones de alabanza a Dios que cantaba de camino a la escuela. Afortunadamente; este periodo de fervor religioso no duró mucho. A medida que fue profundizando en la doctrina y tradición religiosa, fue apercibiéndose de que los mundos de la ciencia y la religión chocaban frontalmente, hasta el punto de que muchos de los milagros descritos en los textos religiosos violaban las leyes de la física. “Leyendo libros populares pronto llegué a la convicción de que muchas de las historias de la Biblia no podían ser verdaderas”, concluyó.

Tan abruptamente como asumió la religión la abandonó. No obstante, esta fase religiosa tendría un fuerte efecto en sus opiniones. Este abandono representó su primer rechazo de la autoridad irreflexiva, una de las características más singulares de su personalidad. A pesar de que concluyó que la tradición religiosa de la Biblia y la ciencia eran irreconciliables, también decidió que había muchas áreas que sencillamente

estaban más allá de la capacidad de la ciencia y que debíamos tener un profundo respeto por las limitaciones de ésta y del pensamiento humano.

Sin embargo, su temprano interés por las brújulas, la ciencia y la religión podría haberse marchitado de no haber encontrado un mentor que guiara sus ideas. En 1889, un pobre estudiante de medicina polaco llamado Max Talmud fue a estudiar a Munich y acudía semanalmente a comer a casa de los Einstein. Fue Talmud quien mostró a Albert las maravillas de la ciencia más allá de la árida y maquinal memorización de la escuela. Años más tarde, Talmud escribiría afectuosamente: "Durante todos esos años jamás le vi leyendo literatura ligera. Tampoco le vi junto a sus compañeros de clase u otros niños de su edad. Su única diversión era la música, ya tocaba sonatas de Mozart y Beethoven acompañado por su madre". Talmud le dio a Einstein un libro de geometría que devoraba día y noche. Einstein lo llamó su "segundo milagro": "A la edad de 12 años, experimenté una segunda maravilla de una naturaleza completamente diferente: un pequeño libro sobre geometría plana euclídea"; Solía llamarlo su “libro sagrado de geometría”, y lo trataba como su nueva Biblia.

Finalmente, Einstein había establecido contacto con el mundo del razonamiento puro. Sin necesidad de sofisticados laboratorios o equipos, podía explorar las verdades universales, con la única limitación del poder de la mente humana. Las matemáticas, contaba su hermana Maja, se convirtieron en una fuente de placer inagotable para Albert, especialmente si se trataba de misterios y enigmas intrigantes. Llegó a fanfarronear ante su hermana de que había encontrado una demostración independiente del teorema de Pitágoras sobre triángulos rectángulos.

Las lecturas matemáticas de Einstein no se limitaron a eso; pronto aprendió cálculo diferencial él solo, sorprendiendo a su tutor. Talmud admitiría que “pronto los vuelos de su genio matemático fueron tan altos que yo no le podía seguir. Por ello, la

filosofía se convirtió a menudo en nuestro tema de conversación. Le sugerí que leyera a Kant". La iniciación del joven Albert en el mundo de Kant y su Crítica de la razón pura alimentaría una pasión duradera por la filosofía. Comenzó a considerar las preguntas eternas a las que se enfrentan todos los filósofos, como el origen de la ética, la existencia de Dios y la naturaleza de las guerras. Kant, en particular, mantenía posturas poco ortodoxas, llegando a dudar de la existencia de Dios. Se reía del pomposo mundo de la filosofía clásica, donde "hay habitualmente mucho ruido y pocas nueces". (O, como dijo el orador romano Cicerón, "No hay nada tan absurdo que no lo haya dicho un filósofo".) Kant también escribió que un gobierno mundial era el camino para acabar con las guerras, una postura que Einstein mantendría el resto de su vida. Llegó un momento en el que, movido por las meditaciones de Kant, Einstein contempló la posibilidad de convertirse en filósofo. Su padre, que deseaba una profesión más práctica para su hijo, lo descartó como un "disparate filosófico".

Afortunadamente, dado el negocio de su padre, había en la fábrica multitud de dinamos, motores y otros aparatos que alimentaron la curiosidad de Albert y estimularon su interés por la ciencia. (Hermann Einstein trabajaba duro para obtener el contrato para un ambicioso proyecto junto a su hermano Jakob: la electrificación del centro de la ciudad de Múnich. Hermann soñaba con ser la punta de la lanza de este histórico proyecto. Si conseguía el contrato, significaría la estabilidad financiera, así como la ampliación de su fábrica.)

El hecho de estar rodeado de inmensos ingenios electromagnéticos propició sin ningún tipo de duda que Einstein tuviera una comprensión intuitiva de la electricidad y el magnetismo. En particular, probablemente agudizó su impresionante habilidad para desarrollar imágenes físicas que describieran las leyes de la física con extraordinaria precisión. Mientras otros científicos se sumergían en un mundo de oscuras matemáticas, Einstein veía claramente las leyes de la física como sencillas imágenes. Tal vez esta habilidad le provenía de los felices días en que podía mirar a su alrededor en la fábrica

de su padre y meditar sobre las leyes de la electricidad y el magnetismo. Este rasgo, la capacidad de verlo todo mediante imágenes físicas, marcaría una de las grandes características de Einstein como físico.

A los quince años su educación fue interrumpida por los problemas económicos de su familia. Hermann, problemáticamente generoso, siempre ayudaba a quienes tenían dificultades económicas; no era severo como la mayoría de los hombres de negocios. (Albert heredaría más tarde esta generosidad.) Su compañía hizo bancarrota tras serle denegado el contrato de la iluminación Munich. La familia de Pauline, ahora residente en Génova, Italia, se ofreció para apoyarle económicamente en un nuevo proyecto. No obstante, había una condición: insistieron en que se mudara con su familia a Italia (en parte para poder controlar de cerca los impulsos generosos de Hermann). La familia se mudó a Milán, cerca de una nueva fábrica en Pavía. Con la voluntad de no seguir interrumpiendo su educación, Hermann dejó a Albert con unos parientes lejanos en Munich.

Completamente solo, la vida de Albert se tomó insoportable, atrapado en un internado que odiaba y acechado por el servicio militar en el temido ejército prusiano. No agradaba a sus profesores, y el sentimiento era mutuo. Aparentemente estaba a punto de ser expulsado del colegio. En un impulso, Einstein decidió reunirse con su familia. Se las arregló para conseguir una nota de su médico de cabecera excusándole de las clases bajo el pretexto de que si no se reunía con su familia podía sufrir una crisis nerviosa. Viajó en solitario hasta Italia, apareciendo de manera completamente inesperada en la puerta de la casa de sus padres.

Hermann y Pauline estaban indecisos sobre qué hacer con su hijo, un prófugo que había abandonado los estudios, sin habilidades, sin profesión y sin futuro. Solía enzarzarse en largas disputas con su padre, que quería que estudiara ingeniería eléctrica, mientras que Albert prefería estudiar filosofía. Finalmente llegaron a un

compromiso y Albert declaró que asistiría al afamado Instituto Politécnico de Zúrich, en Suiza, a pesar de que era dos años más joven que la mayoría de los estudiantes que se presentaban al examen previo. La ventaja del Politécnico consistía en que no era necesario un diploma de bachillerato, sino tan sólo aprobar el examen de entrada.

Desgraciadamente, Einstein suspendió el examen. No aprobó las asignaturas de francés, química y biología, pero lo hizo tan excepcionalmente bien en las de física y matemáticas que impresionó al director Albin Herzog, quien prometió que lo aceptaría el año siguiente sin que Einstein tuviera que repetir el temido examen. El jefe del departamento de física, Heinrich Weber, llegó a ofrecer a Einstein que asistiera como oyente a sus clases mientras estuviera en Zúrich. Herzog le recomendó que pasara el año de espera estudiando en un instituto de Aarau, a tan sólo treinta minutos al oeste de Zúrich. Allí Albert se alojó en la vivienda del director, Jost Winteler, iniciando lo que sería una gran relación entre la familia Einstein y los Winteler. (De hecho, Maja se casaría con el hijo de los Winteler, Paul, y Michele Besso, un amigo de Einstein, se casaría con la hija mayor, Anna.) Einstein disfrutaba del ambiente liberal y relajado de la escuela. Había conseguido librarse de las autoritarias y opresivas normas del sistema alemán. Le gustaba la generosidad de los suizos, que valoraban la tolerancia y la libertad de espíritu. Einstein recordaría cálidamente: “Me gustan los suizos porque, con diferencia, son la gente más humana entre la que he vivido”. Recordando todas sus malas experiencias en las escuelas alemanas, decidió renunciar a la nacionalidad alemana, una decisión sorprendente para un adolescente. Permanecería sin nacionalidad durante cinco años hasta que, finalmente, adquirió la nacionalidad suiza. Albert, floreciendo en esta atmósfera de libertad, comenzó a deshacerse de la imagen de chico solitario, tímido y nervioso para convertirse en extrovertido y gregario, un muchacho de palabra fácil que hacía amigos leales. Maja, en particular, se apercibió de un nuevo cambio en su hermano a medida que se convertía en un pensador maduro e independiente. La personalidad de Einstein pasaría por varias fases a lo largo de su vida, comenzando por una etapa de introversión e inmersión en los libros. En Italia, y especialmente en Suiza, entró en su

segunda fase: desinhibido, engreído, bohemio y siempre con una broma en la punta de la lengua. Podía conseguir que la gente se desternillara con sus juegos de palabras. Nada le agradaba más que hacer reír a sus amigos.

Algunos le llamaban el “Sabio mofletudo”. Un colega, Hans Byland, captó su naciente personalidad: “Todos los que le conocían quedaban cautivados por su gran personalidad. El gesto burlón de su boca carnosa con el labio inferior saliente no animaba a los filisteos a meterse con él. Sin las barreras de las normas convencionales, afrontaba el mundo como un filósofo risueño, dispuesto a castigar sin perdón con su sarcasmo cualquier muestra de vanidad o artificialidad”.

Sin ninguna duda, este “filósofo risueño" comenzaba a ser muy popular entre las chicas. Podía ser un flirteador divertido, pero las muchachas también lo encontraban sensible, simpático y digno de confianza. Una amiga le pedía consejo en la relación con su novio, otra le pidió que firmara en su libro de autógrafos, donde escribió unos tontos versos ramplones. Su manera de tocar el violín era muy apreciada e hizo que fuera reclamada su asistencia a muchas fiestas. Cartas de ese periodo muestran que era muy popular entre los grupos de mujeres que necesitaban una cuerda para acompañar el piano. “Muchas mujeres, jóvenes y maduras, estaban encantadas no sólo por su arte con el violín, sino también por su apariencia, que sugería la de un apasionado y virtuoso latino más que la de un flemático estudiante de ciencias”, escribió su biógrafo Albrecht Folsing.

Una muchacha en particular cautivó su atención. Con tan sólo dieciséis años, Einstein se enamoró apasionadamente de una de las hijas de Jost Winteler, Marie, que tenía dos años más que él. (De hecho, todas las mujeres claves en su vida serían mayores que él, una tendencia compartida por sus dos hijos.) Amable, sensible y talentosa, Marie soñaba con ser profesora como su padre. Albert y Marie daban largos paseos, a menudo para observar pájaros, una de las aficiones favoritas de la familia Winteler. También solía acompañarla con el violín mientras ella tocaba el piano.

Albert le confesó su amor: "Amada mía... Ahora tengo, ángel mío, que aprender el verdadero significado de la nostalgia y el anhelo. Pero el amor da mucha más felicidad que el anhelo dolor. Sólo ahora me doy cuenta de cuán necesaria eres para mí felicidad". Marie respondió los halagos de Albert y hasta escribió una carta a la madre de Einstein, que respondió con aprobación. Los Winteler y los Einstein, de hecho, esperaban un anuncio de boda de los dos jóvenes. Sin embargo, Marie se sentía incómoda cuando hablaba de ciencia con su novio, y creyó que esto podía ser un problema en una relación con alguien tan apasionado y ensimismado como Albert. Se dio cuenta de que debería competir por el afecto de Einstein con su primer gran amor: la física.

Lo que consumía la atención de Einstein no era sólo su creciente afecto por Marie, sino también su fascinación por los misterios de la luz y la electricidad. Durante el verano de 1895 escribió un ensayo independiente sobre la luz y el éter, titulado "Investigación sobre el estado del éter en un campo magnético", que envió a su tío preferido, Caesar Koch, en Bélgica. Con tan sólo cinco páginas, en su primer ensayo científico argumentaba que la misteriosa fuerza del magnetismo que tanto le fascinaba de pequeño podía ser vista como una perturbación del éter. Años antes, Talmud había enseñado a Einstein los *Libros populares de ciencias naturales* de Aaron Bernstein. Einstein escribiría que fue "una obra que leí con inmensa atención". Este libro tendría un impacto crucial sobre él, ya que su autor incluía una discusión sobre la electricidad. Bernstein proponía al lector hacer un viaje imaginario dentro de un cable telegráfico, corriendo junto a una señal eléctrica a velocidades fantásticas.

A los dieciséis años, Einstein tuvo una visión que le condujo al descubrimiento que cambiaría el curso de la historia. Tal vez recordando el viaje imaginario de Bernstein, Einstein se imaginó a sí mismo corriendo junto a un rayo de luz y se hizo la fatídica pregunta: ¿Cómo se vería el rayo de luz? El intento de Einstein de imaginar dicho rayo le conduciría a resultados tan sorprendentes y profundos, como cuando Newton se

imaginó lanzando una piedra tan fuerte que, como la Luna, orbitara la Tierra.

En el mundo newtoniano podemos alcanzar cualquier objeto en movimiento si nos movemos suficientemente rápido. En un coche veloz, por ejemplo, podemos ir corriendo a la altura de un tren. Si miramos dentro del tren, podemos ver a la gente leyendo el periódico *y* tomando café como si estuvieran en el salón de sus casas. A pesar de que se están moviendo a gran velocidad, parecen perfectamente quietos si los miramos desde un coche que va a su misma velocidad.

De manera similar podemos imaginarnos un coche de policía alcanzando a un conductor que viaja a excesiva velocidad. A medida que el coche de policía acelera y se coloca junto al coche del infractor, puede mirar dentro de él e indicar al conductor que se pare en el margen de la carretera. Para el agente, el conductor del coche parece estar en reposo, a pesar de que tanto el policía como el conductor pueden estar viajando a ciento cincuenta kilómetros por hora.

Los físicos sabían que la luz estaba formada por ondas, así que Einstein razonó que si pudiéramos movemos junto a un rayo de luz, entonces el rayo de luz estaría en reposo. Esto quiere decir que el rayo de luz, visto por el veloz observador, parecería una onda congelada, la fotografía de una onda. No oscilaría con el tiempo. Nadie había visto jamás una onda congelada; no se hacía referencia a una onda similar en ningún lugar de la literatura científica. La luz, para Einstein, era especial. No se podía alcanzar un rayo de luz. La luz congelada no existía.

Entonces no lo comprendió, pero había tropezado accidentalmente con una de las mayores observaciones científicas del siglo y ésta le conduciría al principio de la relatividad. Más tarde escribiría que "dicho principio resultó de una paradoja con la que ya me había encontrado a los dieciséis años: si persigo un rayo de luz a velocidad c (velocidad de la luz en el vacío), debería observar dicho rayo... en reposo. No obstante,

parece que no existe tal cosa, ya sea basándonos en la experiencia o en las ecuaciones de Maxwell".

Fue precisamente esta habilidad de aislar los principios clave detrás de cada fenómeno y centrarse en una imagen esencial la que puso a Einstein en la antesala de la organización de una revolución científica. A diferencia de científicos menores que se perdían en las matemáticas, Einstein pensaba en términos de sencillas imágenes físicas -veloces trenes, ascensores que caen, cohetes y relojes que se mueven-. Estas imágenes le guiarían a través de las ideas más brillantes del siglo XX. "Todas las teorías físicas, a pesar de su expresión matemática, deberían permitir ser explicadas mediante una descripción tan sencilla que hasta un niño la entendiera", escribió.

En otoño de 1895 Einstein entró finalmente en el Politécnico y comenzó una etapa completamente nueva de su vida. Por primera vez, pensó, estaría en contacto con los últimos descubrimientos en física que se discutían por doquier en el continente. Sabía que en el mundo de la física soplaban vientos revolucionarios. Abundantes experimentos se llevaban a cabo, al parecer desafiando las teorías de Newton y de la mecánica clásica.

En el Politécnico, Einstein deseaba aprender nuevas teorías sobre la luz, especialmente las ecuaciones de Maxwell, de las cuales después escribiría que "eran el tema más fascinante de mi época de estudiante". Cuando Einstein finalmente aprendió las ecuaciones de Maxwell pudo responder la pregunta que estaba constantemente en su mente. Tal y como sospechaba, no había ninguna solución a las ecuaciones de Maxwell en las que la luz estuviera congelada en el tiempo. Pero descubrió todavía más cosas. Ante su sorpresa, descubrió que, según la teoría de Maxwell, los rayos de luz siempre viajaban a la misma velocidad independientemente de la velocidad del observador. Finalmente llegó a la solución del acertijo: jamás podías alcanzar un rayo de luz porque siempre se aleja de ti a la misma velocidad. Esto, a su vez, violaba todo lo que el sentido común le dictaba sobre la realidad. Tardaría muchos años en

desenmarañar las paradojas de la observación clave de que la luz siempre viaja a la misma velocidad.

Esos tiempos revolucionarios necesitaban nuevas teorías, así como nuevos y valientes líderes Einstein no encontró dichos líderes en el Politécnico. Sus profesores preferían centrarse en la física clásica, incitando a Einstein a saltarse sus clases y pasar la mayoría del tiempo en el laboratorio o aprendiendo nuevas teorías por su cuenta. Sus profesores consideraban que las ausencias repetidas se debían a una pereza crónica; de nuevo Einstein fue subestimado por sus profesores.

Entre los profesores del Politécnico se encontraba Heinrich Weber, el mismo que había ofrecido a Einstein asistir a sus clases después de que suspendiera el examen de entrada. Había llegado a prometer a Einstein ser su asistente después de su graduación. Sin embargo, con el tiempo, Weber comenzó a resentirse de la impaciencia y la indiferencia hacia la autoridad que tenía Einstein. Finalmente, el profesor le retiró su apoyo: “Eres un chico listo, Einstein, un chico muy listo. Pero tienes un gran fallo: no dejas que te enseñen nada”, le dijo. El catedrático de física Jean Pernet tampoco estaba satisfecho con Einstein. Se sintió insultado cuando éste lanzó a la papelera el manual de laboratorio de una de sus clases sin ni tan sólo mirarlo. Pero el asistente de Pernet defendía a Einstein diciendo que sus soluciones, aunque poco ortodoxas, siempre eran correctas. Aun así, Pernet se enfrentó a Einstein: “Eres entusiasta, pero eres un caso perdido para la física. Por tu propio bien deberías estudiar alguna otra cosa. Medicina, literatura o tal vez derecho”. Einstein, tras haber roto el manual del laboratorio, causó accidentalmente una explosión que le dañó gravemente la mano, siendo necesarios varios puntos para cerrar la herida. Sus relaciones con Pernet habían degenerado hasta el punto de que éste le puso un “l”, la nota más baja posible. El catedrático de matemáticas Hermann Minkowski le llegó a llamar “perro gandul”.

Frente al desprecio que mostraban sus profesores, los amigos que Einstein

hizo en Zúrich le serían fíeles durante el resto de su vida. Tan sólo había cinco alumnos en la clase de física de ese año, y se relacionó con todos. Uno de ellos era Marcel Grossman, un estudiante de matemáticas que tomaba meticulosos apuntes de todas las clases magistrales. Sus apuntes eran tan buenos que a menudo Einstein se los pedía en vez de ir a clase, la mayoría de las veces sacando mejores notas en los exámenes que el propio Grossman. (Los apuntes de Grossman se conservan todavía en la universidad.) Grossman le dijo en confianza a la madre de Einstein que algún día le ocurriría "algo muy grande" a su hijo.

Pero, quien de verdad captó la atención de Einstein fue otra estudiante de su clase, Mileva Maric, una mujer de Serbia. Era extraño encontrar un estudiante de física de los Balcanes, y todavía más raro que fuera mujer. Mileva era una persona formidable que había decidido ir a Suiza porque era el único país germanoparlante en el que aceptaban mujeres en la universidad. Fue la quinta mujer aceptada en el Politécnico para estudiar física. Einstein había encontrado su pareja ideal, una mujer capaz de hablar el idioma de su primer amor. La encontró irresistible y rápidamente rompió toda relación con Marie Winteler. Soñaba que él y Milena se convertirían en profesores de física y juntos harían grandes descubrimientos. Pronto estuvieron irremediablemente enamorados. Cuando se separaban durante las vacaciones intercambiaban largas y tórridas cartas de amor, en las que se referían el uno al otro mediante multitud de sobrenombres cariñosos, como 'Jonnhy" y "Dollie". Einstein le escribía poemas y manifestaciones de su amor: "Puedo ir donde quiera, pero no pertenezco a ningún lugar, y añoro tus delicados brazos y tu boca brillante, llena de ternura y besos". Einstein y Mileva intercambiaron más de 430 cartas, conservadas por uno de sus hijos. (Irónicamente, a pesar de que vivían sumidos en la pobreza, con el dinero justo para pagar las facturas, algunas de estas cartas recolectaron 400.000 dólares en una subasta.)

Los amigos de Einstein no podían entender qué veía éste en Mileva. Mientras

que Einstein brillaba con un perspicaz sentido del humor, Mileva, cuatro años mayor, era mucho más seria. Era temperamental, muy reservada y desconfiada. Además tenía una evidente cojera debida a un problema congénito (una pierna era más corta que la otra), que la aislaba todavía más de los demás. Sus amigos murmuraban a sus espaldas sobre el extraño comportamiento de su hermana Zorka, a quien más tarde le fue diagnosticada esquizofrenia. Pero lo más importante era que su posición social era más que cuestionable. Los suizos ocasionalmente despreciaban a los judíos mientras que éstos a su vez despreciaban a los europeos del este, especialmente a los balcánicos.

Mileva, por su parte, no tenía grandes ilusiones sobre Einstein. Su brillantez era legendaria, pero también lo era su actitud irreverente hacia la autoridad. Sabía que había renunciado a la nacionalidad alemana y que tenía opiniones no demasiado populares sobre la guerra y la paz. “Mi enamorado tiene una lengua muy mordaz y para colmo es judío”, escribió.

No obstante, la relación de Einstein con Mileva le estaba distanciando de sus padres. Su madre, que aprobaba su relación con Marie, no veía con buenos ojos a Mileva y la consideraba inferior a Einstein, alguien que traería la ruina para él y para la reputación de la familia. Sencillamente era demasiado mayor, demasiado enferma, demasiado masculina, demasiado pesimista y demasiado serbia. “Esta señorita me está causando los momentos más amargos de mi vida”, le confió a una amiga. “Si estuviera en mi poder, haría todo lo posible para desterrarla de nuestra vida. Realmente me desagrada. Pero ya he perdido toda mi influencia sobre Albert”. "Para cuando tú tengas treinta años, ella será una vieja bruja”, solía advertirle.

Pero Einstein había decidido estar con Mileva a pesar de que ello significara provocar una profunda ruptura en su familia. En una de sus visitas, su madre le preguntó: "¿En qué se ha de convertir esta mujer?”. Cuando Einstein le respondió "En mi esposa”, ella se tiró encima de la cama llorando desconsoladamente. Su madre le acusaba de

destrozar su futuro por una mujer "que no puede entrar en una buena familia”. Finalmente, encarándose a la feroz oposición de sus padres, Einstein tuvo que posponer cualquier plan de casarse con Mileva por lo menos hasta que se graduara y obtuviera un trabajo bien remunerado.

En 1900, cuando Einstein finalmente se graduó en el Politécnico con un título en física y matemáticas, su suerte le falló. Se daba por supuesto que le darían un cargo de asistente ya que era lo habitual, especialmente dado que había aprobado todos sus exámenes. Pero como el catedrático Weber le había retirado la oferta, Einstein fue el único de su clase que se quedó sin un puesto de asistente en el Politécnico -un deliberado jarro de agua fría sobre sus expectativas-. Antaño tan engreído, se encontró de pronto en circunstancias inseguras, especialmente porque las ayudas económicas de una tía pudiente de Génova concluyeron con su graduación.

Inconsciente de la intensidad de la antipatía de Weber hacia él, Einstein dio su nombre como referencia, sin darse cuenta de que con esto le podría incluso sabotear su futuro. Arrepentido, empezó a dar cuenta de que este error había condenado su carrera incluso antes de que comenzara. Más tarde se lamentaría amargamente: "Habría encontrado [un trabajo] hace tiempo si Weber no me hubiera hecho esta mala pasada. Sin embargo, busco hasta debajo de las piedras y mi sentido del humor permanece intacto... Dios creó al asno y le dio una gruesa piel”.

Mientras tanto Einstein pidió la ciudadanía suiza, pero para conseguirla debía probar que estaba empleado. Su mundo quedó colapsando repentinamente. Llegó a considerar la idea de tocar el violín en la calle como si de un mendigo se tratara.

Su padre, dándose cuenta de la situación desesperada de su hijo, escribió una carta al catedrático Wilhem Ostwald de Leipzig, suplicando que le diera a su hijo un cargo

de asistente. (Ostwald jamás respondió esta carta. Irónicamente, una década más tarde sería el propio Ostwald el primero en nominar Einstein al Premio Nobel de Física.) Einstein se dio cuenta de lo injusto que el mundo se había vuelto de repente: “Por el simple hecho de tener estómago, todo el mundo está condenado a participar en esta cacería”, escribió tristemente, “No soy más que una carga para mis familiares... Sin duda sería mejor si sencillamente no viviera”.

Complicando las cosas todavía más, el negocio de su padre entró en bancarrota de nuevo. De hecho, su padre había gastado toda la herencia de su mujer y estaba fuertemente endeudado con su familia política. Falto de soporte financiero, Einstein no tuvo otra opción que aceptar un humilde puesto de profesor. Desesperado, comenzó a peinarlos periódicos en busca de cualquier indicio de trabajo. En un momento dado llegó a pensar en abandonar totalmente la idea de ser físico y trabajar para una compañía de seguros.

En 1901 encontró un puesto de profesor de matemáticas en la Escuela Técnica de Winterthur. Pero a pesar de todas sus obligaciones como profesor, Einstein consiguió tiempo para publicar su primer ensayo, “Deducciones del fenómeno de la capilaridad”, del que el propio Einstein se dio cuenta que no sería trascendental. El año siguiente obtuvo un puesto temporal de tutor en Un internado de Schaffhausen. Fiel a sus principios, no consiguió llevarse bien con el autoritario director del internado, Jakob Nuesch, y fue despedido sumariamente. (El director estaba tan indignado que llegó a acusar a Einstein de fomentar una revolución.).

Einstein comenzaba a pensar que se vería obligado a vivir Una existencia servil enseñando a alumnos indiferentes y rastreando los periódicos en busca de ofertas de trabajo. Su amigo Friedrich Adler recuerda que durante esta época Albert estaba cerca de la hambruna. Era un fracaso completo. Sin embargo, se negaba a pedir dinero a sus familiares. Fue en estas circunstancias cuando se las tuvo que haber con dos reveses

más. En primer lugar, Mileva había suspendido los exámenes finales del Politécnico por segunda vez. Esto significaba que su carrera como física estaba esencialmente acabada. Nadie la aceptaría en un programa de graduados con su currículum. Dolorosamente desanimada, perdió todo interés en la física. Sus románticos sueños de explorar juntos el universo se acabaron. El segundo revés ocurrió en noviembre de 1901, cuando Mileva, que había vuelto a su hogar, le escribió una carta diciéndole que esperaba un hijo.

Einstein, a pesar de las pocas esperanzas que tenía, estaba ilusionado con la idea de ser padre. Estar separado de Mileva era una tortura, pero intercambiaban cartas constantemente, casi a diario. El día 4 de febrero finalmente supo que era padre de una pequeña niña, nacida en la casa de los padres de Mileva en Novi Sad y bautizada Lieserl. Einstein, excitado, deseaba saberlo todo sobre ella. Llegó a suplicarle a Mileva que le enviara una fotografía o un dibujo del bebé. Misteriosamente, nadie sabe lo que le ocurrió. La última mención registrada es en una carta de septiembre de 1903, en la que decía que la niña tenía la escarlatina. Los historiadores creen que probablemente murió de enfermedad o fue entregada en adopción.

Justo cuando parecía que nada le podía ir peor, Einstein recibió noticias inesperadas. Su buen amigo Marcel Grossman le había conseguido un trabajo de funcionario de baja categoría en la Oficina de Patentes de Berna. Desde esa humilde posición, Einstein cambiaría el mundo. (Para mantener vivas sus esperanzas de convertirse algún día en catedrático, persuadió al catedrático Alfred Keiner de la Universidad de Zúrich para que fuera su supervisor de doctorado.).

El 23.de junio de 1902 Einstein comenzó a trabajar en la oficina de patentes como experto técnico de tercera clase con un salario ínfimo. Visto en perspectiva, el trabajo en la oficina, por lo menos encerraba tres ventajas. En primer lugar, su trabajo le obligaba a encontrar los principios físicos básicos que subyacían a cualquier invento. A lo largo del día utilizaba su considerable instinto de físico para deshacerse de todos los

detalles innecesarios y aislar el ingrediente esencial de cada patente, de la cual escribía un informe detallado. Sus informes eran tan largos y exhaustivos que a menudo escribía a sus amigos que se ganaba la vida “meando tinta”. En segundo lugar, muchos de los inventos contenían elementos electromecánicos, así que su experiencia con los motores y las dinamos de la fábrica de su padre le era de gran ayuda. En último lugar, le liberaba de distracciones y le daba tiempo para reflexionar sobre profundas cuestiones concernientes a la luz y al movimiento. A menudo podía acabar rápidamente su trabajo, de manera que tenía tiempo para pensar en las incógnitas que le perseguían desde su juventud. Durante el trabajo, y sobre todo por la noche, volvía a la física. Le agradaba el tranquilo ambiente de la oficina de patentes, a la cual llamaba su “monasterio mundano”.

Cuando Einstein comenzaba a acostumbrarse a su trabajo en la oficina de patentes recibió noticias de que su padre tenía graves problemas de corazón. En octubre tuvo que partir inmediatamente hacia Milán. En su lecho de muerte, Hermann finalmente dio su bendición a Albert para que se casara con Mileva. Su muerte dejó a Einstein con un profundo sentimiento de haber fallado a su padre y a su familia, un sentimiento que le acompañaría toda su vida. Su secretaria, Helen Dukas, escribió: “Muchos años después todavía recordaba aquel punzante sentimiento de pérdida. De hecho, en una ocasión escribió que la muerte de su padre fue el golpe emocional más profundo que jamás había experimentado”. Maja, en particular, amargamente recordó que “la triste fortuna no permitió que [su padre] ni tan sólo sospechara que dos años más tarde su hijo sentaría las bases de su futura grandeza y fama”.

En enero de 1903, Einstein tenía la estabilidad suficiente para casarse con Mileva. Un año más tarde, nacía su hijo Hans. Einstein se acostumbró a la vida de humilde funcionario en Berna y a ser padre y esposo. Su amigo David Reichinstein recuerda vivamente sus visitas a Einstein durante este periodo: “La puerta del piso estaba abierta para que el suelo, que acababan de fregar, se secara, y la colada estaba secándose colgada en el recibidor. Entré en la habitación de Einstein. Con una mano

mecía estoicamente una cuna en la que había un niño. Tenía un cigarro de pésima calidad en la boca, y en la otra mano tenía un libro abierto. De la estufa salía un humo terrible".

Para conseguir un pequeño sobresueldo, había puesto un anuncio en el periódico local en el que se ofrecía para dar "clases particulares de matemáticas y física". Fue la primera mención de Einstein en un periódico. Maurice Solovine, un rumano judío estudiante de filosofía, fue el primero en contestar al anuncio. Einstein se dio cuenta, para su deleite, de que Maurice era una excelente caja de resonancia para sus ideas sobre espacio, tiempo y luz. Para evitar quedarse peligrosamente apartado de la corriente principal de la física, se le ocurrió la idea de formar un grupo de estudio informal, al que Einstein llamaba jocosamente la "Academia Olímpica", para debatir las grandes cuestiones del momento.

Visto en retrospectiva, los días que Einstein pasó con el grupo académico fueron tal vez sus días más felices. Décadas más tarde se le empañarían los ojos al recordar las vibrantes y audaces afirmaciones que hacían mientras devoraban todas las grandes obras científicas de la época. Sus encendidos debates y discusiones llenaban los cafés y cervecerías de Zúrich, y nada parecía imposible. Alegremente afirmaban: "Estas palabras nos las dedicó Epicuro: ¡Qué bella es la pobreza feliz!".

En particular debatían sobre el controvertido trabajo de Ernst Mach, un físico y filósofo vienés que cuestionaba a cualquier físico que hablara de cosas más allá de nuestros sentidos. Mach expuso sus teorías en un influyente libro, *La ciencia de la mecánica.* Ponía en duda la teoría de los átomos, que creía que estaban irremediablemente más allá del reino de lo mensurable. Sin embargo, lo que más atrajo la atención de Einstein fue su dura crítica del éter y del movimiento absoluto. Para Mach el imponente edificio de la mecánica newtoniana estaba construido sobre arena dado que los conceptos de tiempo absoluto y espacio absoluto nunca podrían ser medidos. Creía

que se podían medir los movimientos relativos, pero no los absolutos. Nadie había encontrado el mítico sistema de referencia absoluto que podía determinar el movimiento de las estrellas y los planetas, de la misma manera que nadie había encontrado jamás la más ligera evidencia de la existencia del éter.

Una serie de experimentos que pusieron en evidencia una deficiencia clave en la visión newtoniana fue llevada a cabo en 1887 por Albert Michelson y Edward Morley, quienes se habían propuesto medir con la mayor precisión posible las propiedades del invisible éter. Razonaron que la Tierra se mueve dentro de un mar de éter, creando un "viento de éter", y por tanto la velocidad de la luz debería cambiar dependiendo de la dirección en la que se moviera la Tierra.

Imaginemos, por ejemplo, correr a favor del viento. Si pudieras correr en la misma dirección que el viento notarías como el éste te empuja. Con el viento a tu espalda, corres a una velocidad mayor, y de hecho tu velocidad ha aumentado por la velocidad del viento. Si corres en contra del viento, te frenas; tu velocidad ha disminuido por la velocidad del viento. Igualmente, si corres con el viento de lado, a 90 grados del viento, te ves empujado hacia el costado con una velocidad diferente. El caso es que tu velocidad varía dependiendo de la dirección en la que te mueves respecto al viento.

Michelson y Morley idearon un interesante experimento en el que un único rayo de luz se dividía en dos, cada uno dirigido en direcciones diferentes, en ángulo recto respecto al otro. Múltiples espejos reflejaban los rayos de nuevo hacia la fuente, y entonces los dos rayos se juntaban e interferían entre sí. Todo el conjunto fue cuidadosamente colocado sobre un soporte de mercurio líquido, de manera que podía rotar libremente, y era tan delicado que fácilmente captaba la vibración debida a los carruajes de caballos que pasaban. De acuerdo con la teoría del éter, los dos rayos deberían viajar a velocidades diferentes. Un rayo, por ejemplo, se movería a lo largo de la dirección del movimiento de la Tierra, y el otro se movería a 90 grados respecto al

viento de éter. Por tanto, cuando volvieran a la fuente, deberían estar desfasados entre ellos.

Ante su sorpresa, Michelson y Morley descubrieron que la velocidad de la luz era idéntica para todos los rayos, independientemente de la dirección en la que apuntara el aparato. Esto era profundamente inquietante, ya que indicaba que no había viento de éter en absoluto, y que la velocidad de la luz siempre era igual a pesar de haber rotado el aparato en todas las direcciones.

Esto dejó a los físicos ante dos opciones igualmente desagradables. La primera era que la Tierra fuera perfectamente estacionaría respecto al éter. Esta opción parecía contradecir todo el trabajo astronómico desde el estudio original de Copérnico, quien descubrió que la Tierra no tiene un lugar privilegiado en el universo. La segunda opción era abandonar la teoría del éter y, con ella, la mecánica newtoniana.

Se hicieron esfuerzos heroicos para salvar la teoría del éter. El paso más acertado hacia la resolución de este enigma lo dieron el físico danés Hendrik Lorentz y el físico irlandés George FitzGerald. Razonaron que la Tierra, en su movimiento respecto al éter, se comprimía físicamente debido al viento etéreo, de manera que todas las reglas de medida del experimento Michelson-Morley en la dirección del viento de éter se habían encogido. El éter, que ya tenía las propiedades casi míticas de ser invisible, incompresible y extremadamente denso, ahora, además, tenía una nueva propiedad: podía comprimir mecánicamente los átomos al pasar a través de ellos. Esto podía explicar el resultado negativo. De acuerdo con esta teoría, la velocidad de la luz cambia, pero es imposible medirla ya que, cada vez que se intenta, la vara de medir cambia de longitud y se encoge en la dirección del viento de éter la cantidad justa para que parezca que la velocidad de la luz no ha cambiado.

Lorentz y FitzGerald calcularon independientemente la cantidad de

contracción, dando lugar a lo que se conoce como “la contracción Lorentz-FitzGerald”. Ni uno ni otro estaban particularmente satisfechos con su solución; era sencillamente un arreglo de urgencia, una manera de poner parches a la mecánica newtoniana, pero era lo mejor que podían hacer. La contracción Lorentz-FitzGerald no gustó a demasiados físicos, ya que era obvio que se basaba en un principio ad hoc, enunciado con el único objetivo de apuntalar la moribunda-teoría del éter. La idea del éter, con sus propiedades casi milagrosas, le parecía a Einstein artificial y efectista. Copérnico había destruido el sistema solar geocéntrico de Ptolomeo, que requería que los planetas se movieran en-complicadas trayectorias llamadas-epiciclos”. Utilizando la navaja de Occam, Copérnico cortó de raíz la multitud de epiciclos necesarios para arreglar el sistema de Ptolomeo y colocó al Sol en el centro del sistema solar.

Como Copérnico, Einstein utilizaría la navaja de Occam para deshacerse de las pretensiones de la teoría del éter. Y lo haría utilizando una imagen tan sencilla que hasta un niño la entendería.

LA RELATIVIDAD ESPECIAL Y EL "AÑO MILAGROSO"

Intrigado por la crítica de Mach a la teoría de Newton, Einstein volvió a la imagen que le perseguía desde los dieciséis años: correr junto a un rayo de luz. Volvió al curioso e importante descubrimiento que había hecho cuando estaba en el Politécnico, que en la teoría de Maxwell la luz siempre tenía la misma velocidad independientemente de cómo se midiera. Durante años se preguntó cómo era posible que esto sucediera, ya que en el mundo newtoniano siempre se puede alcanzar un objeto en movimiento.

Imaginemos de nuevo al agente de policía persiguiendo a un conductor. Si conduce lo suficientemente rápido, el agente sabe que dará alcance al coche. Quién haya sido multado por exceso de velocidad lo sabe de sobra. Pero si sustituimos el veloz conductor por un rayo de luz, y un observador presencia toda la persecución, el observador concluirá que el agente se mueve justo detrás del rayo de luz, viajando casi tan rápido como éste. Estamos seguros de que el agente sabe que está viajando codo con codo con el rayo de luz. Pero más tardé, cuando le preguntamos, oímos una extraña historia. Sostiene que en vez de-correr junto al rayo de luz como acabamos de presenciar, éste se alejaba de él. Dice que a pesar de apretar el acelerador e ir cada vez más rápido, el rayo de luz se- alejaba de él siempre a la misma velocidad. De hecho, jura que no tenía la más mínima posibilidad de alcanzarlo. Por muy rápido que fuera, el rayo de luz siempre se alejaba de él a la velocidad de la luz, como si en vez de viajar a gran velocidad en un coche de policía, estuviera inmóvil.

Pero cuando insistes en haber visto al policía correr codo con codo con el rayo de luz, a un pelo de alcanzarlo, él dice que estás loco; ni tan sólo consiguió acercarse. Para Einstein, éste era el misterio central y persistente: ¿cómo era posible que dos personas vieran el mismo suceso de maneras tan diferentes? Si la velocidad de la luz es realmente una constante de la naturaleza, ¿cómo es posible que un testigo diga que el agente iba codo con codo con el rayo de luz, mientras que el agente jura que ni tan sólo

se acercó? Einstein se había dado cuenta de que la visión newtoniana (donde las velocidades se pueden sumar y restar) y la visión maxwelliana (donde la velocidad de la luz es una constante) eran totalmente contradictorias. La teoría newtoniana era un sistema autocontenido basado en unas pocas premisas. Si una sola de estas premisas cambiaba la teoría se desharía en su totalidad, de la misma manera que un hilo suelto puede deshacer un suéter. Este hilo suelto sería la visión de Einstein de correr junto a un rayo de luz.

Un día de mayo de 1905, Einstein visitó a su buen amigo Michele Besso, que también trabajaba en la oficina de patentes, y le expuso las dimensiones del problema al que llevaba años enfrentándose. Utilizando a Besso como consejero, Einstein planteó el dilema: la mecánica newtoniana y las ecuaciones de Maxwell, los dos pilares de la física, eran incompatibles. Uno de los dos debía estar equivocado. Fuera cual fuera la teoría que se demostrara correcta, para llegar a una solución final se debería llevar a cabo una vasta reorganización de la física. Le dio infinidad de vueltas a la paradoja de correr junto a un rayo de luz. Einstein recordaría más tarde: “La semilla de la relatividad especial estaba presente en esa paradoja”. Hablaron durante horas, considerando todos los aspectos del problema, incluyendo los conceptos newtonianos de espacio y tiempo absolutos, que parecían violar la constancia de la velocidad de la luz defendida por Maxwell. Por fin, totalmente exhausto, Einstein declaró que había sido derrotado y que abandonaba la búsqueda. No había nada qué hacer, había fallado.

Aunque Einstein estaba deprimido, las ideas todavía hervían en su cabeza mientras volvía a casa aquella noche. En particular, recordaba sus viajes en un tranvía y mirar hacía el famoso reloj de la torre que domina la ciudad de Berna. Se preguntó qué pasaría si el tranvía se alejara del reloj a la velocidad de la luz. Rápidamente se dio cuenta de que el reloj de la torre parecería estar parado, ya que la luz no podía alcanzar al tranvía, pero su reloj de pulsera seguiría avanzando con normalidad.

De golpe le vino a la cabeza la solución de todo el problema. “Una tormenta se desató en mi mente”, escribió recordando el momento. La solución era simple y sutil: el tiempo transcurre a diferentes velocidades a lo largo del universo, dependiendo de la velocidad a la que te muevas. Imaginemos relojes esparcidos por diferentes puntos del espacio, cada uno de ellos dando una hora diferente, cada uno avanzando a ritmo diferente. Un segundo en la Tierra no dura lo mismo que un-segundo en la Luna o que un segundo en Júpiter. De hecho, cuanto más rápido te mueves, más lento transcurre el tiempo. (Einstein una vez bromeó diciendo que con la teoría de la relatividad había colocado un reloj en todos los puntos del universo, pero que en la vida real no tenía suficiente dinero para comprarse siquiera uno.).

Esto quería decir que sucesos que eran simultáneos en un sistema de referencia no necesariamente lo eran en otro sistema, contrariamente a lo que Newton creía. Finalmente, se había inmiscuido en “los pensamientos de Dios". Más tarde recordaría excitado: “La solución me vino de golpe con la visión de que la validez de nuestros conceptos de tiempo y espacio se basaban únicamente en nuestra experiencia... Volviendo a acuñar el concepto de simultaneidad de una forma más maleable, llegue a la teoría de la relatividad”.

Por ejemplo, recordemos que en la paradoja del conductor, el agente de policía está corriendo codo con codo con un rayo de luz, mientras que el propio agente afirma que el rayo de luz se aleja de él precisamente a la velocidad de la luz por mucho que él acelere. La única manera de reconciliar las dos imágenes es hacer que el cerebro del agente vaya más lento. El tiempo se ralentiza para el agente. Si pudiéramos ver el reloj de pulsera del agente desde la cuneta, veríamos que se paraba casi por completo y sus expresiones faciales se congelaban. Por tanto, nosotros lo veíamos corriendo codo con codo con el rayo de luz, pero su reloj (y su cerebro) estaban casi parados. Cuando preguntamos al agente después, descubrimos que le parecía que el rayo de luz se alejaba velozmente de él tan sólo porque su cerebro y su reloj avanzaban más despacio.

Para completar la teoría, Einstein también incorporó la contracción de Lorentz-FitzGerald, excepto que era el propio espacio lo que se contraía, no los átomos como creyeron Lorentz y FitzGerald. (El efecto combinado de la contracción del espacio y dilatación del tiempo se conoce como la “transformación de Lorentz”). De esta manera podía prescindir completamente de la teoría del éter. Resumiendo el camino que le llevó a la relatividad escribiría: “A nadie le debo tanto como a Maxwell”. Aparentemente, a pesar de que conocía la existencia del experimento Michelson-Morley, la inspiración de la teoría no provino del viento de éter, sino directamente de las ecuaciones de Maxwell.

El día después de esta revelación Einstein volvió a casa de Michele Besso y, sin ni tan siquiera saludar, le dijo: “Gracias, he resuelto completamente el problema”. “Un análisis del concepto del tiempo fue mi solución. El tiempo no se puede definir absolutamente, y hay una inseparable relación entre el tiempo y la velocidad de la señal”, recordaría con orgullo. Durante las siguientes seis semanas, y de forma compulsiva, desarrolló todos los detalles matemáticos de su brillante visión y los plasmó en un ensayo que sin duda es de los trabajos científicos más importantes de todos los tiempos. Según su hijo, Einstein estuvo en la cama durante dos semanas después de entregarle el ensayo a Mileva para que comprobara si había algún error matemático. El resultado final: “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, estaba garabateado sobre treinta y tres páginas, pero cambió la historia del mundo.

En el ensayo no hay agradecimientos a ningún otro científico; tan sólo da las gracias a Michele Besso. (Einstein sabía que Lorentz había trabajado sobre el tema, pero ignoraba la contracción de Lorentz, que Einstein encontró independientemente.) Finalmente se publicó en el Annalen der Physik en septiembre de 1905, en el volumen 17. De hecho, Einstein publicaría tres de sus trabajos más trascendentales en el volumen 17. Su colega Max Bom escribió que el volumen 17 es “uno de los volúmenes más extraordinarios de toda la literatura científica. Contiene tres ensayos de Einstein, cada

uno centrado en un tema diferente, y cada uno considerado hoy en día una obra maestra". (Copias de este famoso volumen se vendieron por 15.000 dólares en una subasta en 1994.)

Einstein comenzaba su artículo proclamando que sus teorías no sólo eran aplicables a la luz, sino que eran verdades sobre el propio universo. De manera extraordinaria basó todas sus deducciones en dos simples postulados sobre los sistemas de referencia inerciales (es decir, objetos que se mueven a velocidad constante entre ellos):

1. Las leyes de la física son inmutables para todos los sistemas de referencia inerciales.
2. La velocidad de la luz es constante en todos los sistemas de referencia inerciales.

Estos dos simples principios marcan una de las visiones más profundas sobre el funcionamiento del universo desde el trabajo de Newton. A partir de ellos, podemos derivar una imagen completamente diferente del espacio y el tiempo.

En primer lugar, con una pincelada genial, Einstein demostró elegantemente que la velocidad de la luz era una constante del universo, de manera que la solución de Lorentz era la más general. Luego demostró que las ecuaciones de Maxwell cumplían este principio. En último lugar expuso que las velocidades se suman de una manera peculiar. A pesar de que Newton, observando el movimiento de veleros navegando, concluyó que las velocidades se pueden sumar sin límite, Einstein concluyó que la velocidad de la luz era la velocidad más alta posible del universo. Imaginemos, por el momento, que viajamos en un cohete que se aleja de la Tierra al 90% de la velocidad de la luz. Si disparamos una bala dentro del cohete, según la mecánica newtoniana, la bala debería ir al 180% de la velocidad de la luz, sobrepasándola. Pero Einstein demostró

que, debido a que los patrones métricos se encogen y el tiempo se ralentiza, la suma de estas dos velocidades está cerca del 99% de la velocidad de la luz. De hecho, Einstein demostró que por mucho que se intentara, jamás se podía acelerar más allá de la velocidad de la luz. La velocidad de la luz era el límite absoluto de velocidad del universo.

Jamás vemos estas extrañas distorsiones en nuestra vida cotidiana porque nunca nos movemos cerca de la velocidad de la luz. Para velocidades cotidianas, las leyes de Newton funcionan perfectamente. Esta es la razón fundamental por la que se tardó más de doscientos años en hacer la primera corrección de las leyes de Newton. Ahora imaginemos que la velocidad de la luz es de tan sólo 30 kilómetros por hora. Si un coche fuera por la calle parecería comprimido en la dirección del movimiento, reducido como un acordeón hasta tal vez cinco centímetros de longitud, por ejemplo, mientras que su altura sería la misma de antes. Dado que los pasajeros del coche están comprimidos hasta cinco centímetros, es de esperar que gritaran a medida que se aplastasen sus huesos. De hecho, los pasajeros no verían nada raro, ya que todo dentro del coche, incluidos los átomos de sus cuerpos, también se comprimiría.

A medida que el coche se fuera parando, se expandiría desde cinco centímetros hasta tres metros, y los pasajeros saldrían del coche como si nada hubiera pasado. ¿Quién se había comprimido en realidad? ¿Nosotros o el coche? Según la teoría de la relatividad no lo podemos determinar, dado que el concepto de longitud no tiene significado absoluto.

Retrospectivamente, se puede ver que otros llegaron a aproximarse sorprendentemente al concepto de la relatividad. Lorentz y FitzGerald llegaron a la misma contracción, pero su comprensión del resultado no era la correcta. Creyeron que era una deformación electromecánica de los átomos, cuando en realidad es una sutil transformación del espacio y el tiempo en sí. Henri Poincaré, considerado el matemático francés más importante de su época, se acercó mucho. Comprendió que la velocidad de

la luz debe ser una constante en todos los sistemas de referencia inerciales, y hasta demostró que las ecuaciones de Maxwell mantenían la misma forma bajo la transformación de Lorentz. Sin embargo, Poincaré también se negó a abandonar la estructura newtoniana de éter y creyó que estas distorsiones eran estrictamente un fenómeno electromagnético.

Einstein fue un poco más allá y dio el paso decisivo. Escribió a finales de 1905 un pequeño artículo, casi una nota a pie de página, que cambiaría nuestra concepción del mundo. Si los patrones métricos y los relojes se distorsionan a altas velocidades, entonces todo lo que se puede medir con una regla o un reloj también debe cambiar, incluyendo la materia y la energía. De hecho, la materia se puede convertir en energía, y viceversa. Por ejemplo, Einstein pudo demostrar que la masa de un objeto aumentaba con su velocidad. (Su masa debería convertirse en infinita si jamás llegara a la velocidad de la luz, cosa que al ser imposible, constituye una demostración de que la velocidad de la luz es inalcanzable.) Esto quería decir que la energía cinética o de movimiento se estaba transformando en un incremento de la masa del objeto. Por tanto, la materia y la energía son intercambiables. Si calculaba de forma exacta cuánta energía se convertía en masa, en unas pocas líneas podía demostrar que $E = mc^2$, la ecuación más famosa de todos los tiempos. Dado que la velocidad de la luz era un número tan asombrosamente grande, y su cuadrado era todavía mayor, hasta una pequeña cantidad de materia podía emitir una cantidad de energía fabulosa. Unas pocas cucharillas de café de materia, por ejemplo, tiene la energía de varias bombas de hidrógeno. De hecho, un trozo de materia del tamaño de una casa sería suficiente para partir la Tierra en dos.

La fórmula no era un mero ejercicio académico, ya que Einstein creía que podía explicar un hecho curioso descubierto por Marie Curie. Tan sólo unos 30 gramos de radio emitían 4.000 calorías por hora indefinidamente, al parecer violando la primera ley de la termodinámica (que determina que la cantidad total de energía es constante, es decir, la energía se conserva.) Concluyó que debería haber un ligero descenso de su masa a

medida que el radio emitía energía (una cantidad demasiado pequeña como para ser medida con los instrumentos disponibles en 1905). “La idea es divertida y atrayente; pero si el Todopoderoso se está riendo de ella o me está guiando por el camino correcto es algo que desconozco", escribió. Concluyó que la verificación directa de su conjetura “por el momento probablemente está más allá de cualquier experimento".

¿Por qué no se había encontrado antes esta energía oculta? Einstein comparó esta situación a la de un hombre inmensamente rico que mantiene su riqueza en secreto al no gastarse ni un céntimo.

Banesh Hoffman, un antiguo alumno, escribió, "Imagina la audacia de este paso... cada pedazo de tierra, cada pluma, cada mota de polvo se convirtieron en prodigiosas reservas de energía sin explotar. En aquel momento no era posible verificarla. Pero cuando en 1907 Einstein presentó la ecuación habló de ella como la consecuencia más importante de la teoría de la relatividad. Su extraordinaria capacidad de anticipar el futuro queda patente en el hecho de que esta ecuación no pudo ser verificada hasta veinticinco años después”. Una vez más, el principio de la relatividad forzó una corrección fundamental de la física clásica. Antes, los físicos creían en la conservación de la energía, la primera ley de la termodinámica, según la cual la energía jamás puede ser creada o destruida. Después, en cambio, los físicos pasaron a considerar que lo que se conservaba era el total de la energía y la masa.

La mente inquieta de Einstein afrontó otro problema ese mismo año: el efecto fotoeléctrico. Heinrich Hertz, en 1887, se había dado cuenta de que si un rayo de luz impactaba un metal, bajo ciertas circunstancias se podía crear una corriente eléctrica. La electrónica moderna se basa en este principio. Las células solares convierten habitualmente luz solar en electricidad, que puede ser utilizada para alimentar nuestras calculadoras. Las cámaras de televisión recogen rayos de luz del sujeto y los convierten en corrientes eléctricas que finalmente llegan a nuestros televisores.

Sin embargo, a principios de siglo, todo esto era un misterio. De alguna manera el rayo de luz-desprendía electrones del metal, pero no se sabía cómo. Newton creía que la luz se componía de pequeñas partículas a las que él llamaba "corpúsculos", pero los físicos estaban convencidos de que la luz era una onda y, según la teoría clásica de ondas, su energía no dependía de la frecuencia. Por ejemplo, aunque la luz roja y la luz verde tienen frecuencias distintas, deberían tener la misma energía, de manera que al impactar el metal los electrones despedidos deberían tener la misma energía. De manera similar, la teoría clásica establece que si se aumenta la intensidad de la luz añadiendo más lámparas, la energía de los electrones despedidos también aumenta. El trabajo de Philipp Lenard, sin embargo, demostraba que la energía de los electrones despedidos dependía estrictamente de la frecuencia o color de la luz, no de su intensidad; algo que era contrario a la predicción de la teoría de ondas.

Einstein intentó explicar el efecto fotoeléctrico utilizando la nueva "teoría cuántica" descubierta por Max Planck en Berlín en 1900. Planck llevó a cabo una de las desviaciones más radicales de la física clásica afirmando que la energía no era una cantidad continua, como un líquido, sino que se daba en unos paquetes discretos y finitos llamados "cuantos'*. La energía de cada cuanto era proporcional a su frecuencia. La constante de proporcionalidad era una nueva constante de la naturaleza, llamada "constante de Planck". La razón por la que el átomo y los *quantum* parecen tan extraños es que la constante de Planck es un número muy pequeño. Einstein concluyó que si la energía se daba en paquetes pequeños, la luz en sí debería estar cuantizada. (El paquete de "cuanto de luz" de Einstein se bautizó más tarde como "fotón", una partícula de luz, por el químico Gilbert Lewis en 1926.) Einstein razonó que si la energía del fotón era proporcional a su frecuencia, entonces la energía del electrón despedido también seria proporcional a la frecuencia. (Es divertido apuntar que en la serie de televisión *Star Trek,* la tripulación del *Enterprise* lanzaba "torpedos de fotones" a sus enemigos. En realidad, el lanzador de fotones más sencillo es una linterna.)

La nueva imagen de Einstein, una teoría cuántica de la luz, resultó una nueva predicción que se podía contrastar experimentalmente. Aumentando la frecuencia del rayo de luz incidente, deberíamos ser capaces de observar un aumento en el voltaje generado en el metal. Este artículo histórico (que con el tiempo lograría el Premio Nobel para Einstein) se publicó el 9 de junio de 1905 con el título “Sobre un punto de vista heurístico de la producción y transformación de luz". Con él nacían el fotón y la teoría cuántica de la luz.

En otro artículo escrito durante el "año milagroso” de 1905, Einstein afrontó el problema del átomo. A pesar de que la teoría atómica determinaba las propiedades de los gases y las reacciones con gran precisión, no había ninguna prueba directa de su existencia, como Mach y otros críticos puntualizaban satisfechos. Einstein razonó que se podría demostrar la existencia de los átomos observando el movimiento de pequeñas partículas en un líquido. El “movimiento browniano”, por ejemplo, se refiere al movimiento minúsculo y aleatorio de pequeñas partículas suspendidas en un líquido. Esta propiedad fue descubierta por el botánico Robert Brown en 1828, tras observar partículas de polen bajo un microscopio que extrañamente se movían de manera aleatoria. En un primer momento creyó que este movimiento en zigzag era similar al de las células del esperma masculino, pero más tarde observó que este comportamiento se repetía con pequeños granos de granito y vidrio.

Algunos habían especulado que el movimiento browniano se debía a los impactos aleatorios de las moléculas del líquido, pero nadie supo formular una teoría razonable al respecto. Einstein, sin embargo, dio el paso decisivo. Razonó que, aunque los átomos eran demasiado pequeños para ser observados, era posible estimar su tamaño y comportamiento calculando su impacto acumulativo sobre objetos grandes. Si se creía seriamente en la teoría de los átomos, sus dimensiones físicas podían ser calculadas analizando el movimiento browniano. Suponiendo que las colisiones aleatorias de trillones y trillones de moléculas de agua causaban el movimiento aleatorio

de una mota de polvo, Einstein fue capaz de calcular el tamaño y el peso de los átomos, proporcionando así evidencia experimental de su existencia.

Es impresionante que mirando por un simple microscopio Einstein pudiera calcular que un gramo de hidrógeno contiene 3.031.023 átomos, una cifra que se acerca mucho al valor correcto. El título era "Sobre los movimientos de pequeñas partículas suspendidas sobre líquidos estacionarios según la teoría cinéticomolecular del calor" (18 de julio). Este simple artículo, en efecto, proporcionó la primera evidencia experimental de la existencia de los átomos. (Irónicamente, tan sólo un año después de que Einstein calculara el tamaño de los átomos, el físico Ludwig Boltzmann, que había promocionado la teoría atómica, se suicidó, en parte debido al incesante ridículo al que era sometido cuando exponía su teoría de los átomos.) Después de escribir estos cuatro artículos, Einstein entregó un trabajo previo sobre el tamaño de las moléculas al supervisor de su doctorado, Alfred Kleincr, a modo de tesis. Esa noche se emborrachó con Mileva.

Al principio su tesis fue rechazada. Pero el 15 de enero de 1906 Einstein por fin se doctoró por la Universidad de Zúrich. Ahora podía presentarse como doctor Einstein. El nacimiento de la nueva física tuvo lugar en el hogar de Einstein en el número 49 de la calle Kramgasse de Berna. (Hoy en día se conoce como la "Casa de Einstein". Mirando a través del bello balcón acristalado que da a la calle, se puede leer una placa que proclama que a través de esta ventana nació la teoría de la relatividad. En la pared opuesta se puede ver una fotografía de la bomba atómica.)

1905 fue realmente un annus mirabilis en la historia de la ciencia. Si buscamos-otro año comparable tendríamos que retroceder hasta 1666, cuando Isaac Newton, con treinta y tres años, dio con la ley de la gravitación universal, el cálculo diferencial e integral, el teorema del binomio y su teoría del color.

Einstein terminó el año 1905 habiendo desarrollado la teoría del fotón, dando

evidencia de la existencia de los átomos y derrocando la física newtoniana, logros todos ellos merecedores de reconocimiento internacional. Sin embargo le disgustó el silencio con que fueron recibidos. Su trabajo, al parecer, fue completamente ignorado. Desanimado, Einstein volvió a su vida personal, educando a su hijo y trabajando en la oficina de patentes. Tal vez pensar en abrir nuevos caminos en la física no era más que construir castillos en el aire.

A principios de 1906, sin embargo, el primer destello de respuesta atrajo la atención de Einstein. Recibió una sola carta, pero era del físico más importante de su época, Max Planck, quien inmediatamente entendió las radicales consecuencias del trabajo de Einstein. Lo que atrajo a Planck de la teoría de la relatividad era que convertía una cantidad, la velocidad de la luz, en una constante fundamental de la naturaleza. La constante de Planck, por ejemplo, separaba el mundo clásico del mundo subatómico del cuanto. Estamos protegidos de las extrañas propiedades de los átomos por el pequeño valor de la constante de Planck. De manera similar Einstein ascendía la velocidad de la luz a la calidad de constante de la naturaleza. Estamos protegidos del igualmente extraño mundo de la física cósmica por el enorme valor de la velocidad de la luz.

Según Planck estas dos constantes, la constante de Planck y la velocidad de la luz, marcaban los límites del sentido común y de la física newtoniana. No podemos ver la rareza de la naturaleza de la realidad física por la pequeñez de la constante de Planck y la enormidad de la velocidad de la luz. Si la relatividad y la teoría cuántica violaban el sentido común era tan sólo porque vivimos toda nuestra vida en un rincón del universo, en un mundo aislado donde las velocidades son muy lentas comparadas con la de la luz y los objetos muy grandes como para acercarse a la constante de Planck. A la Naturaleza, sin embargo, no le importa nuestro sentido común, y creó un mundo de partículas subatómicas que cotidianamente se trasladan a velocidades cercanas a la de la luz y obedecen la fórmula de Planck.

En el verano de 1906 Planck envió a su asistente, Max von Laue, para encontrarse con este misterioso funcionario que había salido de la nada para desafiar las leyes de Newton. Debían encontrarse en la sala de espera de la oficina de patentes, pero tontamente pasaron uno junto al otro sin reconocerse, ya que Von Laue esperaba encontrarse con una figura imponente y autoritaria. Cuando Einstein finalmente se presentó, Von Laue se sorprendió al encontrar a alguien completamente diferente, un funcionario sorprendentemente joven y vestido de manera informal. Se convirtieron en grandes amigos. (Sin embargo, Von Laue era capaz de reconocer un puro de mala calidad. Cuando Einstein le ofreció uno, Von Laue, aprovechando un momento en que Einstein no miraba, lo tiró discretamente al río Aare mientras atravesaban un puente.)

Con la bendición de Max Planck el trabajo de Einstein comenzó a atraer la atención de otros físicos. Irónicamente, uno de los antiguos profesores de Einstein en el Politécnico, que le había llamado “perro gandul” por saltarse sus clases, se interesó mucho por el trabajo de su antiguo alumno. El matemático Hermann Minkowski desarrolló las teorías de la relatividad todavía más allá, intentando reformular la observación de Einstein de que el espacio se convierte en tiempo y viceversa cuanto más rápido te mueves. Minkowski formuló esto en lenguaje matemático y concluyó que el espacio y el tiempo formaban una unidad de cuatro dimensiones. De repente, todo el mundo hablaba de la cuarta dimensión.

Por ejemplo, en un mapa, se requieren dos coordenadas (longitud y amplitud) para localizar cualquier punto. Si se añade una tercera dimensión, la altura, entonces puedes localizar un objeto en el espacio, desde la punta de tu nariz hasta el fin del universo. El mundo visible que nos rodea es, pues, tridimensional. Escritores como H. G. Wells habían conjeturado que tal vez el tiempo podría ser la cuarta dimensión, de manera que cualquier suceso podría ser localizado si tuviéramos sus tres coordenadas espaciales y el momento en el que sucede. Por lo tanto, si quieres encontrarte con alguien en Nueva York, podrías decir: “Quedemos en la esquina de la calle 42 con la

Quinta Avenida, en el vigésimo piso, a mediodía". Cuatro números especifican unívocamente el suceso. Pero la cuarta dimensión de Wells era tan sólo una idea y no tenía ningún contenido matemático o físico.

Entonces Minkowski rescribió las ecuaciones de Einstein para sacar a la luz una bella estructura de cuatro dimensiones, asociando el espacio y el tiempo en un tejido tetradimensional. "De ahora en adelante, el espacio y el tiempo por separado se han convertido en sombras, mientras que tan sólo una unión de los dos conservará una realidad independiente", escribió Minkowski.

En un primer momento esto no impresionó a Einstein. De hecho, llegó a escribir irónicamente, "Lo importante es el contenido, no las matemáticas. Con matemáticas puedes demostrar cualquier cosa". Einstein creía que en el núcleo de la relatividad yacían principios físicos básicos, no matemáticas tetradimensionales sin sentido, a las que llamaba "erudición superflua". Para él era esencial tener una imagen clara y simple (por ejemplo, trenes, ascensores que caen y cohetes), y las matemáticas vendrían después. De hecho, en ese momento pensaba que las matemáticas tan sólo eran una herramienta para seguir la pista a lo que pasaba en la imagen.

Einstein escribiría, medio en broma, que "desde que los matemáticos han atacado la teoría de la relatividad, incluso yo he dejado de entenderla". Con el tiempo, no obstante, comenzó a apreciar el poder del trabajo de Minkowski y sus profundas implicaciones filosóficas. Lo que Minkowski había demostrado era que se podían unificar dos conceptos aparentemente diferentes utilizando el poder de la simetría. El espacio y el tiempo ahora se deberían ver como diferentes estados del mismo objeto. De manera similar, la energía y la materia, así como la electricidad y el magnetismo, se podían relacionar utilizando la cuarta dimensión. La unificación a través de la simetría se convirtió en uno de los principios básicos de Einstein durante el resto de su vida.

Imaginemos un copo de nieve, por ejemplo. Si lo rotamos 60 grados, el copo de nieve vuelve a verse igual. Matemáticamente decimos que los objetos que mantienen su forma bajo rotaciones se llaman “covariantes”. Minkowski demostró que las ecuaciones de Einstein, al igual que un copo de nieve, permanecen covariantes cuando el espacio y el tiempo se rotan como objetos tetradimensionales.

En otras palabras, un nuevo principio de la física había nacido, y más tarde Einstein lo refinaría: las ecuaciones de la física deben ser covariantes bajo Lorentz (es decir, mantener la misma forma bajo una transformación de Lorentz). Einstein más tarde admitiría que sin las matemáticas tetradimensionales de Minkowski, la relatividad “podría haberse quedado estancada en su infancia”. Lo que era notable era que esta física tetradimensional permitía a los físicos expresar las ecuaciones de la relatividad de una manera muy compacta. Por ejemplo, todos los estudiantes de ingeniería electrónica o de física, cuando comienzan a estudiar la serie de ocho ecuaciones en derivadas parciales de Maxwell las encuentran diabólicamente complicadas. Las matemáticas de Minkowski lograban reducir las ecuaciones de Maxwell a tan sólo dos. (De hecho, se puede demostrar que las ecuaciones de Maxwell en matemáticas tetradimensionales son la forma más sencilla de describir la luz.) Por primera vez los físicos apreciaron realmente el poder de la simetría en sus ecuaciones.

Cuando un físico habla de la “belleza y elegancia” de la física a menudo se refiere en realidad a que la simetría permite unificar un gran número de fenómenos y conceptos diferentes de una manera extraordinariamente compacta. Cuanto más bella es una ecuación, más simetría posee y más fenómenos pueden explicar en menor espacio.

El poder de la simetría, pues, nos permite unir piezas dispares en un armonioso y completo todo. Las rotaciones de un copo de nieve, por ejemplo, nos permiten ver la unión que existe entre cada punto del copo. Rotando en cuatro dimensiones se unifican

los conceptos de tiempo y espacio, convirtiéndose el uno en el otro a medida que aumenta la velocidad. Este bello y sutil concepto de que la simetría une entidades al parecer diferentes en un agradable y armonioso todo, guió a Einstein durante los siguientes cincuenta años.

Curiosamente, tan pronto como Einstein completó la teoría de la relatividad perdió todo interés en ella. Prefirió contemplar una cuestión más profunda como la gravedad y la aceleración, al parecer más allá del alcance de la relatividad especial. Einstein había dado a luz la teoría de la relatividad, pero como todo padre, inmediatamente se dio cuenta de sus errores potenciales e intentó corregirlos. (Hablaremos sobre este tema más adelante.)

'

Mientras, la evidencia experimental comenzaba a confirmar algunas de sus ideas, lo que aumentó su presencia en el mundo de la física. El experimento Michelson-Morley se repitió, dando siempre el mismo resultado negativo y arrojando dudas sobre la teoría del éter. Experimentos sobre el efecto fotoeléctrico confirmaron las ecuaciones de Einstein. Yendo más allá, en 1908, experimentos sobré electrones a alta velocidad demostraron que la masa del electrón aumentaba con la velocidad. Animado por los éxitos experimentales que apoyaban sus teorías, Einstein solicitó un puesto de profesor adjunto *(privatdozent)* en la cercana Universidad de Berna. Este cargo estaba por debajo del de catedrático, pero le ofrecía la ventaja de poder simultanearlo con su trabajo en la oficina de patentes. Presentó su tesis sobre relatividad así como otros trabajos publicados. En un primer momento su solicitud fue rechazada por el jefe del departamento, Aime Foster, quien decía que la teoría de la relatividad era totalmente incomprensible. Su segundo intento fue exitoso.

En 1908, y a medida que se demostraba que Einstein había hecho un avance trascendental para la física, se le consideró seriamente para un cargo más prestigioso en la Universidad de Zúrich. Se enfrentaba a la dura competencia de un antiguo amigo,

Friedrich Adler. Ambos candidatos eran judíos, lo que era una desventaja, pero Adler era hijo del fundador del Partido Socialdemócrata Austríaco, con el cual simpatizaban los miembros del profesorado, por lo que parecía que se descartaría a Einstein. Fue sorprendente, por tanto, que el mismo Adler se esforzara para que Einstein lograra el puesto. Era un agudo observador de caracteres y apreció bien a Einstein. Escribió elocuentemente de las capacidades de Einstein como físico, pero remarcó: "En su época de estudiante fue menospreciado por los profesores... Desconoce cómo desenvolverse con la gente importante". Gracias al extraordinario sacrificio de Adler, se otorgó a Einstein el puesto y comenzó su ascenso me teórico en la carrera académica. Había vuelto de nuevo a Zúrich, pero esta vez como profesor, no como un físico desempleado y fracasado. Cuando encontró un apartamento en Zúrich, estuvo encantado al saber que Adler vivía en el piso de debajo, y se convirtieron en grandes amigos.

En 1909 Einstein dio su conferencia inaugural en el primer gran congreso de física en Salzburgo, donde estaban presentes numerosas lumbreras, incluyendo a Max Planck. En su charla "El desarrollo de nuestras visiones de la naturaleza y constitución de la radiación", enseñó contundentemente al mundo la ecuación $E = me^2$. Einstein, habituado a ahorrar dinero en la comida, se maravilló ante la opulencia del congreso. "Las festividades acabaron en el Hotel Nacional, con el banquete más opulento al que he asistido jamás. Me animó a decirle al patricio genovés que se sentaba a mi lado: «¿Sabe lo que hubiera hecho Calvino si estuviera aquí...? Habría construido una gran hoguera y nos habría quemado por extravagancia pecaminosa. El hombre no me volvió a dirigir la palabra», recuerda".

La charla de Einstein fue la primera ocasión en la historia en la que alguien presentaba claramente el concepto de "dualidad" de la física, el concepto de que la luz puede tener propiedades duales, ya sea como una onda como Maxwell había sugerido en el siglo pasado, o como partículas, como había sugerido Newton. Ver la luz como una onda o como una partícula dependía del experimento. Para experimentos de baja

energía, donde la longitud de onda del rayo de luz era larga, la visión ondulatoria era más útil. Para rayos de alta energía, donde la longitud de onda es muy pequeña, la imagen de la luz como partículas era más adecuada. Este concepto (que décadas más tarde sería atribuido al físico danés Niels Bohr) demostró ser una de las observaciones fundamentales de la naturaleza de la materia y una rica fuente de investigación de la mecánica cuántica.

A pesar de haberse convertido en catedrático, Einstein se conservó tan bohemio como siempre. Un estudiante recuerda su primera conferencia en la Universidad de Zúrich: "Apareció en la clase con una vestimenta raída, con pantalones demasiado cortos y llevando consigo un pedazo de papel del tamaño de una tarjeta de visita con las notas de la conferencia".

En 1910 nació el segundo hijo de Einstein, Eduard. Einstein, siempre inquieto, ya buscaba un nuevo puesto porque aparentemente algunos catedráticos querían echarle de la universidad. Al año siguiente le ofrecieron un puesto en el Instituto de Física Teórica de la Universidad Alemana de Praga con un aumento de salario. Irónicamente, su oficina se encontraba junto a un hospital psiquiátrico. Indagando en los misterios de la física, a menudo se preguntaba si no serían los internos del hospital los que estaban en su juicio.

Ese mismo año, 1911, tuvo lugar el Primer Congreso Solvay en Bruselas, financiado por un acaudalado industrial belga, Ernest Solvay, que serviría para sacar a la luz el trabajo de los principales científicos del mundo. Fue el congreso más importante de su época, y le dio la oportunidad a Einstein de conocer a los gigantes de la física e intercambiar ideas con ellos. Conoció a Marie Curie, dos veces ganadora del Premio Nobel, y nació entre ellos una gran amistad. La teoría de la relatividad y su teoría del fotón eran el centro de atención. El tema de su conferencia era “La teoría de la radiación y el cuanto”.

Una cuestión debatida en el congreso fue la famosa “paradoja de los gemelos”. Einstein ya había mencionado extrañas paradojas debido a la ralentización del tiempo. Paul Langevin propuso la paradoja de los gemelos como un sencillo experimento mental que topaba con algunas de las supuestas contradicciones de la teoría de la relatividad. (En aquel momento los periódicos rebosaban de historias sensacionalistas sobre Langevin, que estaba casado infelizmente y se decía que tenía un escandaloso romance con Marie Curie, una viuda.) Langevin consideró dos gemelos que vivían en la Tierra. Uno de ellos es transportado a una velocidad cercana a la de la luz y vuelve a la Tierra. Pueden haber pasado cincuenta años en la Tierra, pero como el tiempo se ralentiza en el cohete, el gemelo del cohete ha envejecido tan sólo diez años. Cuando finalmente los dos hermanos se reúnen, hay una disparidad entre sus edades, siendo el gemelo del cohete cuarenta años más joven.

Ahora miremos la situación desde el punto de vista del gemelo del cohete. Desde su perspectiva él permanece en reposo, mientras que la Tierra se aleja y son los relojes del gemelo terrestre los que se ralentizan. Cuando se reúnen, el gemelo de la Tierra, no el del cohete, debería ser más joven. Pero dado que el movimiento debe ser relativo, ¿cuál de los dos es realmente más joven? Como las dos situaciones parecen simétricas, esta paradoja permanece como una espina en el costado de cualquier estudioso que haya abordado la teoría de la relatividad.

La solución del rompecabezas es, como Einstein remarcó, que el gemelo que acelera es el del cohete, no el de la Tierra. El cohete debe frenar, pararse y dar media vuelta, lo que sin duda provoca grandes esfuerzos sobre el gemelo del cohete. En otras palabras, las situaciones no son simétricas porque las aceleraciones, que no están cubiertas por las suposiciones que subyacen la relatividad especial, tan sólo ocurren para el gemelo del cohete, que es realmente más joven.

Sin embargo, la situación se complica si el hermano del cohete no vuelve

jamás. En este caso, cada gemelo ve cómo el reloj del otro se ralentiza. Dado que las situaciones son perfectamente simétricas, cada gemelo está convencido de que el otro es más joven. De la misma manera, cada gemelo cree que el otro está comprimido. Así que, ¿cuál de los dos gemelos es más joven y delgado? A pesar de lo paradójico que pueda parecer, en el mundo de la relatividad es posible tener dos gemelos, cada uno más joven que el otro, y cada uno más delgado que el otro. La manera más fácil de determinar cuál de los dos es más joven y delgado en todas estas paradojas es juntar a los dos gemelos, lo que requiere acelerar uno de los dos, que a su vez determina cuál de los dos estaba "realmente" en movimiento.

A pesar de que estas increíbles paradojas se resolvieron indirectamente a favor de Einstein a nivel atómico a través del estudio de rayos cósmicos y colisiones de átomos, el efecto es tan sutil que no pudo observarse experimentalmente hasta 1971, cuando aviones cargados con precisos relojes atómicos volaron a grandes velocidades. Dado que los relojes atómicos pueden medir el paso del tiempo con precisión astronómica, comparando los dos relojes se pudo verificar que el tiempo transcurre más despaciosa grandes velocidades, tal como había predicho Einstein.

Otra paradoja tiene en cuenta dos objetos, cada uno más corto que el otro. Imaginemos a un cazador de grandes presas intentando cazar un tigre de unos tres metros con una caja de tan sólo treinta centímetros. Normalmente, esto es imposible. Ahora imaginemos que el tigre va tan rápido que se encoge hasta treinta centímetros, de manera que la caja puede caer y atrapar el tigre. A medida que el tigre se frena, se alarga. Si la caja está hecha de red, el tigre rompe la red. Si está hecha de cemento, el pobre tigre muere aplastado.

Pero ahora miremos la situación desde el punto de vista del tigre. El tigre está en reposo, y ahora la caja se mueve y se ha reducido a tan sólo tres centímetros de longitud. ¿Cómo es posible que una caja de tres centímetros atrape un tigre de tres

metros? La respuesta es que a medida que la caja cae, se encoge en la dirección del movimiento, de manera que se convierte en un paralelogramo, un cuadrado aplastado. Los dos extremos de la caja no impactan con el tigre simultáneamente. Lo que es simultáneo para el cazador no lo es para el tigre. Si la caja está hecha de red, la parte delantera de la caja golpea la nariz del tigre y se rompe. A medida que la caja cae, se rompe a lo largo del cuerpo del tigre, hasta que el extremo posterior finalmente golpea la cola. Si la caja está hecha de cemento, la nariz del tigre se aplasta en primer lugar. A medida que la caja cae se va aplastando el cuerpo del tigre contra el extremo delantero, hasta que el extremo trasero de la caja finalmente captura la cola.

Estas paradojas llegaron a cautivar el interés del público, llegando a publicarse estos versos jocosos en la revista *Punch:*

Había una va una joven llamada Destello
que viajaba más veloz, que la luz.
Salió un dio, de manera relativa,
y volvió la noche anterior.

Para entonces su buen amigo Marcel Grossman era catedrático del Politécnico de Zúrich, y contactó con Einstein para ver si le interesaba un puesto en su antiguo colegio, esta vez como catedrático. Cartas de recomendación alababan a Einstein. Marie Curie escribió que "físicos matemáticos consideran unánimemente que su trabajo es de primera calidad".

Así, tan sólo dieciséis meses después de llegar a Praga, Einstein volvió a Zúrich y al antiguo Politécnico. Volver al Politécnico (desde 1911 llamado Instituto Federal Suizo de Tecnología, o ETH), esta vez como, afamado profesor, significó una victoria personal para Einstein. Dejó la universidad con su reputación por los suelos, con profesores como Weber saboteando activamente su carrera. Volvió como el líder de una nueva revolución

en la física. Aquel año recibió la primera nominación al Premio Nobel de Física. Sus ideas todavía eran consideradas demasiado radicales para la Academia Sueca, y había voces disidentes entre los laureados que deseaban sabotear su nominación. En 1912, el Premio Nobel no fue para Einstein, sino para Nils Gustaf Dalén, por su trabajo de mejora de los faros marítimos. (Irónicamente, los faros son hoy en día obsoletos gracias al sistema de posicionamiento global por satélite, que depende en gran medida de la teoría de la relatividad de Einstein.)

En menos de un año la reputación de Einstein creció tanto que comenzó a recibir ofertas de Berlín. Max Planck deseaba captar a esta estrella de la física, y Alemania era sin duda el líder mundial de investigación en física, siendo Berlín la joya de la corona de la investigación alemana. Einstein dudó al principio, ya que había renunciado a la ciudadanía alemana y los recuerdos de su juventud eran demasiado amargos, pero la oferta era demasiado tentadora.

En 1913 Einstein fue elegido para la Academia Prusiana de las Ciencias y más tarde se le ofreció un puesto en la Universidad de Berlín. Sería director del Instituto Kaiser Wilhelm. Pero más allá de los títulos, que significaban poco para él, lo que hacía la oferta particularmente atractiva era que no tenía obligaciones docentes. (A pesar de que Einstein era muy popular entre los alumnos, que valoraban su trato de respeto y amabilidad, la enseñanza le distraía de su interés principal, la relatividad general.)

En 1914 Einstein llegó a Berlín para conocer al profesorado. Se sintió un poco nervioso mientras le observaban. “Los caballeros de Berlín apuestan por mí como si fuera la gallina de los huevos de oro. Por lo que a mí respecta, no sé si jamás pondré otro huevo”, escribió. El rebelde de treinta y cinco años, con extrañas convicciones políticas y vestimenta todavía más rara, se tuvo que adaptar a los modales formales de la Academia Prusiana de las Ciencias, donde los miembros se referían entre ellos como “Consejero del Consejo Privado” o “Su excelencia”. Einstein musitaría: “Parece que la

mayoría de los miembros se limitan a exhibir una grandeza al estilo de un pavo real tan sólo en su escritura; a, parte de eso son bastante humanos".

La marcha triunfante de Einstein de la oficina de patentes de Berna hasta los más altos cargos de la investigación alemana no ocurrió sin un peaje personal. A medida que su fama aumentaba entre la comunidad científica, su vida personal se tambaleaba. Estos fueron los años más productivos de Einstein, con frutos que finalmente cambiarían la historia humana, pero que le exigían cantidades de tiempo casi imposible, que acabarían enajenándole de su mujer y sus hijos.

Einstein escribió que vivir con Mileva era como vivir en un cementerio, y que cuando estaba solo con ella evitaba estar en la misma habitación. Sus amigos se dividieron respecto a quién tenía la culpa. Muchos creían que Mileva se estaba aislando y volviendo resentida con su famoso marido. Hasta los amigos de Mileva estaban preocupados porque había envejecido notablemente durante esos años y había dejado que su aspecto se deteriorara. Se estaba volviendo cada vez más estridente y fría, celosa hasta del tiempo que él pasaba con sus colegas. Cuando descubrió una carta de felicitación que Einstein recibió de Arma Schmidt (que conoció a Einstein durante un breve periodo en Aarau y que desde entonces se había casado), explotó, abriendo una de las más profundas grietas en su ya frágil matrimonio.

Por el contrario, otros creían que Einstein no era ciertamente el marido ideal, constantemente en la carretera, dejando a Mileva sola para criar y educar a sus dos hijos. Viajar a la vuelta del siglo era notoriamente difícil, y largos viajes le mantenían alejado durante días y semanas. Como si fueran sombras, cuando estaba en casa, tan sólo coincidía con Mileva para cenar o para ir al teatro. Estaba tan inmerso en el mundo abstracto de las matemáticas que tenía muy poca energía emocional para conectar con su mujer. Cuanto más se quejaba ella de sus ausencias, más se recluía él en el mundo de la física.

Lo más probable es que hubiera parte de razón en ambas alegaciones y que no tenga sentido culpar a nadie. Retrospectivamente, tal vez era inevitable que el matrimonio sufriera tensiones enormes. Tal vez sus amigos estaban en lo cierto muchos años antes cuando decían que eran incompatibles.

Pero la ruptura final se precipitó con su aceptación de la oferta de Berlín. A Mileva no le gustaba la idea de ir a vivir a Berlín. Tal vez, ser una eslava en el centro de la cultura teutónica le intimidaba demasiado; y lo que era peor, la mayoría de la familia de Einstein vivía en Berlín, y Mileva temía estar bajo su mirada áspera y reprobatoria. No era ningún secreto que sus parientes políticos la odiaban. Mileva viajó a Berlín con Einstein, pero entonces, de repente, se fue a Zúrich llevándose a los niños con ella. Nunca más volverían a estar juntos. Einstein, que quería a sus hijos como a nadie, estaba desolado. A partir de ese momento se vio forzado a mantener una relación a larga distancia con sus hijos, haciendo un viaje de diez horas en sus visitas a Zúrich para verlos. (Cuando a Mileva finalmente le fue concedida la custodia de los niños, Einstein lloró durante todo el camino de vuelta a casa, según su secretaria Helen Dukas.)

Pero lo que probablemente precipitó su ruptura fue la presencia de una prima de Einstein en Berlín. “Llevo una vida retirada pero no solitaria, gracias a los cuidados de una prima que fue quien me trajo a Berlín en primer lugar”, confesaría.

Elsa Lowenthal era una doble prima: su madre y la de Einstein eran hermanas, y sus abuelos eran hermanos. Estaba divorciada y vivía con sus dos hijas, Margot e Ilse, en un piso encima del de sus padres (los tíos de Einstein). Ella y Einstein se encontraron brevemente en 1912 cuando él visitó Berlín. Por entonces, Einstein aparentemente había decidido que su matrimonio con Mileva estaba acabado y el divorcio era inevitable. Sin embargo, temía los efectos que un divorcio podría tener en sus hijos pequeños.

Desde que eran niños a Elsa le había gustado Einstein. Confesó haberse

enamorado de él de niña cuando le oyó tocar a Mozart Pero aparentemente lo que más le atrajo de él fue su creciente fama en el mundo académico y el respeto de físicos de todo el mundo. De hecho, no era ningún secreto que le encantaba participar de su fama. Como Mileva, Elsa era mayor, cuatro años más que Einstein. Pero ahí se acababa la similitud. De hecho, eran polos opuestos. Dejando a Mileva, Einstein se volcaba en la dirección opuesta. Mientras que Mileva era a menudo despreocupada con su apariencia y parecía continuamente preocupada, Elsa era extremadamente burguesa y consciente del estatus social. Siempre intentaba cultivar relaciones en los círculos intelectuales de Berlín y orgullosamente mostraba a Einstein a sus amigos de la alta sociedad. Al contrario que Mileva, que era lacónica, reservada y sombría, Elsa era una mariposa social, revoloteando entre fiestas y estrenos teatrales. Y al contrario que Mileva, que había abandonado todo intento de reformar a su marido, Elsa era como una madre, continuamente corrigiendo sus modales mientras le ayudaba a cumplir su destino. Un periodista ruso más tarde resumiría así la relación entre Einstein y Elsa: “Ella es todo amor para su gran marido, siempre preparada para protegerle de las duras intrusiones de la vida y para garantizarle la tranquilidad necesaria para que sus grandes ideas maduren. Su satisfacción se colma con la materialización de su objetivo como pensador y con los más tiernos sentimientos de una compañera, esposa y madre de un maravilloso y exquisito niño adulto”.

Después de que Mileva desapareciera de Berlín en 1915, llevándose consigo a los niños, Einstein y Elsa intimaron todavía más. Lo que consumía a Einstein durante este periodo, sin embargo, no era el amor, sino el propio universo.

SEGUNDA PARTE SEGUNDA IMAGEN: LA DISTORSIÓN DEL ESPACIO-TIEMPO

LA RELATIVIDAD GENERAL Y "LA IDEA MÁS FELIZ DE MI VIDA

Einstein aún no estaba satisfecho. Ya se le consideraba uno de los mejores físicos de su época, pero aun así seguía inquieto. Se dio cuenta de que había dos flagrantes agujeros en su teoría de la relatividad. En primer lugar, estaba basada completamente en movimientos inerciales. En la Naturaleza, sin embargo, casi nada es inercial. Todo está en constante aceleración: los zarandeos del tren, el zigzag de las hojas que caen, la rotación de la Tierra alrededor del Sol, el movimiento de los cuerpos celestes. La teoría de la relatividad no cubría ni los casos de aceleración más comunes sobre la Tierra.

En segundo lugar, la teoría no mencionaba la gravedad. Pretendía ser una simetría universal de la Naturaleza, aplicable a todos los sectores del universo, pero al mismo tiempo la gravedad parecía estar más allá de su alcance, lo que era bastante vergonzoso, ya que la gravedad está en todas partes. Las deficiencias de la teoría de la relatividad eran obvias. Dado que la velocidad de la luz era el límite máximo de la velocidad, la teoría de la relatividad establecía que cualquier perturbación del Sol tardaría ocho minutos en llegar a la Tierra. Esto, sin embargo, contradecía la teoría de la gravedad de Newton, que establecía que los efectos de la gravedad eran instantáneos. (La velocidad de la gravedad de Newton era infinita, dado que la velocidad de la luz no aparece en ningún lugar de sus ecuaciones.) Einstein debía pues revisar completamente las ecuaciones de Newton para incorporar en ellas la velocidad de la luz.

En resumen, Einstein se dio cuenta de la inmensidad del problema de generalizar su teoría de la relatividad para incluir las aceleraciones y la gravedad. Comenzó a llamar a su teoría de 1905 la "teoría de la relatividad especial", para diferenciarla de la más importante "teoría de la relatividad general" que era necesaria para describir la gravedad. Cuando le explicó a Max Planck sus ambiciosos planes,

Planck le advirtió: “Como amigo con más experiencia que tú, debo recomendarte que no lleves estos planes adelante, en primer lugar porque no tendrás éxito, e incluso si lo tienes, porque nadie te creerá". Pero Planck también se dio cuenta de la importancia del problema cuando dijo: “Si tienes éxito, te llamarán el nuevo Copérnico”.

La observación clave para la nueva teoría de la gravedad la hizo Einstein cuando todavía trabajaba en la oficina de patentes como humilde funcionario en 1907. “Estaba sentado en mi silla de la oficina de patentes de Berna cuando se me ocurrió de golpe una idea: si una persona cae libremente, no nota su propio peso. Me sobresalté. Esta simple idea me impresionó profundamente. Me condujo hacia una teoría de gravitación", recordaría.

En un instante Einstein se dio cuenta de que si cayera de la silla sería momentáneamente ingrávido. Por ejemplo, si estás en un ascensor y el cable se rompe de repente, estarías en caída libre; caerías al mismo ritmo que el suelo del ascensor. Dado que tanto tú como el ascensor caeríais a la misma velocidad, parecería que eras ingrávido y flotabas en el aire. De manera similar, Einstein se apercibió de que si cayera de la silla estaría en caída libre y la aceleración cancelaría perfectamente el efecto de la gravedad, haciendo que pareciera ingrávido.

Este concepto es antiguo. Lo conocía Galileo, quien según una historia apócrifa dejó caer una pequeña piedra y una gran bala de cañón desde la Torre Inclinada de Pisa. Fue el primero en demostrar que todos los objetos de la Tierra se aceleran al mismo ritmo bajo la gravedad (9,81 metros por segundo cuadrado). Newton también conocía este hecho cuando dijo que los planetas y la Luna estaban de hecho en caída libre alrededor del Sol o de la Tierra. Todo astronauta que ha sido enviado al espacio exterior también sabe que la gravedad puede ser eliminada por la aceleración. En una nave espacial, todo lo que hay dentro, incluido el suelo, los instrumentos y tú mismo, cae al mismo ritmo. Por lo tanto, cuando miras a tu alrededor, todo flota. Tus pies se elevan sobre el suelo, dando

la impresión de que la gravedad ha desaparecido, porque el suelo cae junto con tu cuerpo. Si un astronauta da un paseo alrededor de la nave no cae repentinamente hacia la tierra, sino que flota suavemente junto al cohete porque tanto el astronauta como el cohete están cayendo al unísono a medida que orbitan alrededor de la Tierra. (La gravedad no desparece en el espacio exterior, como algunos libros de ciencia mantienen erróneamente. La gravedad del Sol es suficientemente potente para mantener al planeta Plutón en su órbita a miles de millones de kilómetros de la Tierra. La gravedad no ha desaparecido, sencillamente ha sido eliminada por la caída del cohete bajo tus pies.)

Este es el “principio de equivalencia", según el cual toda masa cae a la misma velocidad bajo el efecto de la gravedad (para más exactitud, la masa inercial es igual a la masa gravitacional). Esta idea no era nueva, era casi una curiosidad para Galileo y Newton, pero en las manos de un físico como Einstein se convertiría en la basé de una nueva teoría relativista de la gravedad. Einstein fue mucho más allá que Galileo o Newton. Formuló su siguiente postulado, el postulado del que proviene la relatividad general: las leyes de la física son indistinguibles en un marco acelerado o en un marco gravitacional. Esta simple afirmación, en manos de Einstein, se convirtió en los cimientos de la teoría que nos mostraría el espacio deformado, los agujeros negros y la creación del universo.

Después de esta brillante observación en la oficina de patentes en 1907, pasarían años antes de que la nueva teoría de la gravedad de Einstein cobrara forma. Una nueva visión de la gravedad surgía del principio de equivalencia, pero no publicaría los resultados de sus ideas hasta 1911. La primera consecuencia del principio de equivalencia es el hecho de que la luz debe curvarse bajo el efecto de la gravedad. La idea de que la gravedad puede afectar el comportamiento de los rayos de luz es antigua, por lo menos data de los tiempos de Isaac Newton. En su libro Opticks se preguntaba si la luz de las estrellas se veía influida por la gravedad: “¿No actúan los cuerpos a distancia sobre la luz, y por su acción doblan los rayos; y no es esta acción mayor a menor

distancia?". Desgraciadamente, dada la tecnología del siglo XVII, Newton fue incapaz de dar una respuesta a esta pregunta.

Einstein, más de doscientos años después, retomó la pregunta. Si encendemos una linterna mientras viajamos dentro de un cohete que está acelerando en el espacio exterior, dado que el cohete acelera hacia arriba, el rayo de luz se inclina hacia abajo. Ahora apliquemos el principio de equivalencia. Dado que la física en el interior de la nave espacial debe ser indistinguible de la física sobre la Tierra, la gravedad también debe curvar la luz. En pocos pasos Einstein llegó a un nuevo fenómeno físico, la curvatura de la luz debido a la gravedad. Inmediatamente se dio cuenta de que dicho efecto podía ser calculado.

El Sol genera el mayor campo gravitacional del sistema solar, de manera que Einstein se preguntó si el Sol bastaría para curvar la luz de estrellas distantes. Esto se podía comprobar tomando dos fotografías del mismo grupo de estrellas en estaciones distintas. La primera foto se tomaría por la noche, cuando nada perturbara la luz proveniente del grupo de estrellas; la segunda foto se tomaría varios meses más tarde, cuando el Sol se posicionara frente al mismo grupo de estrellas. Comparando las dos fotografías, es posible medir cómo las estrellas se mueven ligeramente en la cercanía del Sol debido a la gravedad solar. Dado que el Sol abruma la luz de las estrellas, todo experimento sobre la curvatura de la luz de las estrellas debía llevarse a cabo durante un eclipse solar, cuando la Luna bloqueara la luz del Sol y se pudieran ver las estrellas durante el día. Einstein razonó que las fotografías del ciclo durante un eclipse, comparadas con las del mismo cielo durante la noche, deberían mostrar una perturbación de la posición de las estrellas cercanas al Sol. (La presencia de la Luna también curva la luz de las estrellas debido a la gravedad lunar, pero en una cantidad mucho menor que la curvatura causada por el Sol. Por lo tanto, la curvatura de la luz durante un eclipse apenas se ve afectada por la Luna.)

El principio de equivalencia le podía ayudar a calcular el movimiento aproximado de los rayos de luz bajo el efecto de la gravedad, pero seguía sin decirle nada sobre la propia gravedad. Le faltaba una teoría de campos de la gravedad. Recordemos que las ecuaciones de Maxwell describen una verdadera teoría de campos, donde las líneas de fuerza son como una telaraña que puede vibrar y transportar ondas que viajan a lo largo de las líneas de fuerza. Einstein buscaba un campo gravitatorio cuyas líneas de fuerza transportaran vibraciones gravitacionales que viajaran a la velocidad de la luz.

Hacia 1912, después de años de pensar en ello, comenzó a darse cuenta de que era necesario replantearse los conceptos de espacio y tiempo; para hacerlo necesitaría nuevas geometrías además de las heredadas de los antiguos griegos. La observación clave que le encaminó hacia la curvatura del espacio-tiempo fue una paradoja planteada a Einstein por su amigo Paul Ehrenfest, que en adelante se conocería como la “paradoja de Ehrenfest”. Consideremos un tiovivo o un disco giratorio. En reposo, sabemos que su circunferencia es igual a su diámetro multiplicado por π. Sin embargo, cuando el tiovivo comienza a moverse, la parte exterior se mueve más rápido que la interior y, por tanto, según la relatividad, debe encogerse más que la parte interior, distorsionando la forma del tiovivo. Esto quiere decir que la circunferencia se ha reducido y ahora es menor que π veces el diámetro; es decir, la superficie ya no es plana. El espacio está curvado. La superficie del tiovivo se puede comparar con el área dentro del Círculo Polar Ártico. Podemos medir el diámetro del Círculo Ártico caminando de un punto a otro del círculo a través del Polo Norte. Entonces medimos la circunferencia del Círculo Ártico. Si comparamos los dos valores, veremos que la circunferencia es menor que el diámetro multiplicado por ir porque la superficie de la Tierra está curvada. Durante los últimos dos mil años, físicos y matemáticos confiaban en la geometría euclídea, que se basa en superficies planas. ¿Qué pasaría si hubieran imaginado una geometría basada en superficies curvas?

Una vez nos damos cuenta de que el espacio puede estar curvado, aparece una sorprendente nueva visión. Imaginemos una roca pesada colocada sobre una cama. La roca, por supuesto, se hundirá en la cama. Ahora lancemos una pequeña canica por la cama. La canica no seguirá una trayectoria recta, sino curvada alrededor de la roca. Hay dos maneras de analizar este efecto. Desde la distancia, un newtoniano puede decir que se trata de una "fuerza" misteriosa que procede de la roca y provoca un cambio de dirección en la canica. Esta fuerza, a pesar de ser invisible, alcanza la canica y la empuja. Sin embargo, un relativista tendría una visión completamente diferente. Para un relativista que mire con detalle la cama, no hay ninguna fuerza que empuja la canica. Tan sólo hay una depresión en la cama, que dicta el movimiento de la canica. A medida que la canica se mueve, la superficie de la cama "empuja" la canica hasta que se mueve en una órbita circular.

Ahora sustituyamos la roca por el Sol, la canica por la Tierra, y la cama por el espacio y el tiempo. Newton diría que una fuerza invisible llamada "gravedad" tira de la Tierra alrededor del Sol. Einstein contestaría que no hay atracción gravitatoria alguna. La Tierra se ve desviada alrededor del Sol debido a que la curvatura del propio espacio está empujando a la Tierra. En cierto sentido, la gravedad no atrae, sino que el espacio empuja.

En esta visión Einstein podía explicar por qué cualquier perturbación del Sol tardaría ocho minutos en llegar a la Tierra. Por ejemplo, si de repente quitamos la roca, la cama volverá a su posición normal, creando ondas que se mueven a través de la cama a una velocidad finita. De manera similar, si el Sol desapareciera, crearía un frente de onda de espacio curvado que viajaría a la velocidad de la luz. Esta visión era tan simple y sutil que pudo explicar la idea esencial a su segundo hijo, Eduard, cuando le preguntó por qué era tan famoso. Einstein contestó: "Cuando un escarabajo ciego camina sobre la superficie de una rama curvada, no se da cuenta de que el camino que ha recorrido está curvado. Yo fui suficientemente afortunado como para darme cuenta de lo que el

escarabajo no había sido capaz de percibir".

Newton, en su *Philosophiae naturalis principia mathematica,* confesó que fue incapaz de explicar el origen de este empuje misterioso, que actuaba instantáneamente sobre todo el universo. Escribió su famosa frase *hypotheses non fingo* (No formulo ninguna hipótesis) por su incapacidad para explicar de dónde provenía la gravedad. Con Einstein vemos que la gravedad está causada por la curvatura del espacio y el tiempo. La "fuerza" es ahora una ilusión, un efecto de la geometría. En esta visión, la razón por la que nos mantenemos sobre la Tierra no es porque la gravedad nos empuje hacia abajo. Según Einstein, no existe el empuje gravitatorio. La Tierra deforma el continuo espacio-tiempo alrededor de nuestros cuerpos, de manera que el propio espacio nos empuja hacia el suelo.- Por lo tanto la presencia de la materia es lo que deforma el espacio a su alrededor, dándonos la ilusión de que hay una fuerza gravitatoria que actúa sobre los objetos cercanos.

Esta curvatura es, por supuesto, invisible, y desde la distancia la visión de Newton parece ser la correcta. Imaginemos hormigas caminando sobre un papel arrugado. Pese a que intentan seguir una línea recta, son zarandeadas hacia izquierda y derecha a medida que caminan sobre los pliegues del papel. A las hormigas les parece que hay una fuerza misteriosa que las empuja hacia ambas direcciones. Sin embargo, para alguien que las observa desde arriba es obvio que no existe tal fuerza; lo único que existe son los pliegues del papel empujando a las hormigas. Recordemos que Newton consideraba el espacio y el tiempo un sistema de referencia absoluto para cualquier movimiento, pero para Einstein el espacio y el tiempo asumían un papel dinámico. Si el espacio está curvado, entonces todo aquel que se mueva creería que hay misteriosas fuerzas que empujan su cuerpo hacia un lado u otro.

Comparando el espacio-tiempo con una tela que se puede estirar y doblar, Einstein se vio forzado a estudiar las matemáticas de las superficies curvadas.

Rápidamente se vio sumergido en un mar de matemáticas, incapaz de encontrar las herramientas correctas para analizar su nueva visión de la gravedad. Einstein, que antes había despreciado las matemáticas como "erudición superflua", ahora pagaba por todas las clases de matemáticas que se había saltado en el Politécnico.

Desesperado, se dirigió a su amigo Marcel Grossman. "Grossman, debes ayudarme o me volveré loco -confesó Einstein-. Jamás en mi vida nada me había atormentado tanto como esto, y he aprendido a apreciar y tener un gran respeto hacia las matemáticas, las partes más sutiles que antes consideraba puro lujo. Comparada con este problema la teoría original de la relatividad es un juego de niños".

Cuando Grossman revisó la literatura matemática, encontró que, irónicamente, en el Politécnico les habían enseñado las matemáticas básicas que Einstein necesitaba. Einstein encontró las matemáticas capaces de describir la distorsión del espacio-tiempo en la geometría de Bernhard Riemann, desarrollada en 1854. (Años más tarde, recordando lo complicado que fue dominar las nuevas matemáticas, Einstein diría esto a algunos alumnos de instituto: "No os preocupéis por vuestras dificultades con las matemáticas; os puedo asegurar que las mías son todavía mayores".)

Antes de Riemann las matemáticas se basaban en la geometría euclídea, la geometría de las superficies planas. Durante miles de años se ha interrogado a los escolares sobre los teoremas de la geometría griega, según los cuales la suma de los ángulos interiores de un triángulo es igual a 180 grados, y las líneas paralelas no se cortan jamás. Dos matemáticos, el ruso Nicolai Lobachevsky y el austrohúngaro János Bolyai, se acercaron mucho al desarrollo de una geometría no euclídea; es decir, una geometría en la que la suma de los ángulos de un triángulo puede ser mayor o menor que 180 grados. Pero la teoría de la geometría no euclídea fue desarrollada finalmente por el "príncipe de las matemáticas", Cari Friedrich Gauss, y particularmente por su estudiante, Riemann. (Gauss sospechaba que la teoría euclídea podía ser incorrecta

hasta en aplicaciones físicas. Hizo que sus ayudantes lanzaran rayos de luz desde los picos de la cordillera Harz, intentando calcular experimentalmente el valor de la suma de los tres ángulos del triángulo formado por tres picos. Desgraciadamente obtuvo un resultado negativo. Gauss era un personaje tan políticamente correcto que jamás publicó su trabajo sobre este controvertido tema por miedo a la ira de los conservadores que juraban sobre la geometría euclídea.)

Riemann descubrió mundos matemáticos completamente nuevos -la geometría de las superficies curvas de cualquier dimensión, no sólo de dos o tres dimensiones espaciales-. Einstein estaba convencido de que estas geometrías superiores darían una descripción más precisa del universo. Por primera vez, el lenguaje matemático de la "geometría diferencial" estaba entrando en la física. La geometría diferencial, o cálculo tensorial, las matemáticas de las superficies curvas en cualquier dimensión, se llegó a considerar una de las ramas más "inútiles" de las matemáticas, carente por completo de ningún significado físico. De repente se había transformado en el lenguaje del propio universo.

En la mayoría de biografías, la teoría de la relatividad general aparece como completamente formulada en el año 1915, como si Einstein por arte de magia se hubiera encontrado con la teoría totalmente acabada y sin ningún error. Sin embargo, sólo en las últimas décadas se han analizado las "libretas perdidas" de Einstein, y llenan muchos agujeros entre el año 1912 y 1915. Ahora es posible construir, en algunos casos mes por mes, la evolución crucial de una de las mayores teorías de todos los tiempos. En particular, él quería generalizar la noción de covariancia. La relatividad especial, como vimos, se basa en la idea de la covariancia bajo Lorentz, es decir, la idea de que las ecuaciones de la física mantienen la forma bajo la transformación de Lorentz. Ahora Einstein lo quería generalizar a todas las posibles aceleraciones y transformaciones, no sólo a las inerciales. En otras palabras, buscaba ecuaciones que mantuvieran la misma forma independientemente del sistema de referencia respecto al qué se expresaran, ya

fuera acelerado o moviéndose a velocidad constante. Cada sistema de referencia requiere a su vez un sistema de coordenadas para medir las tres dimensiones espaciales y el tiempo. Lo que Einstein deseaba era una teoría que mantuviera la misma forma sin importar cuáles eran las coordenadas de tiempo y espacio utilizadas para medir el sistema de referencia, lo que le condujo al famoso principio de la covariancia general: las ecuaciones de la física deben ser en general covariantes (es decir, deben mantener la misma forma bajo un cambio de coordenadas arbitrario).

Por ejemplo, imaginemos el acto de lanzar una red de pescar sobre una mesa. La red de pescar representa un sistema de coordenadas arbitrario, y el área de la mesa representa algo que se mantiene igual independientemente de la distorsión de la red de pescar. No importa cuánto torzamos o enrollemos la red, el área de la mesa siempre es igual.

En 1912, consciente de que las matemáticas de Riemann eran el lenguaje correcto para la gravitación, y guiado por la ley de la covariancia general, Einstein buscó en la geometría de Riemann objetos que fuesen en general covariantes. Sorprendentemente, tan sólo había dos objetos covariantes disponibles: el volumen de un espacio curvado y la curvatura (llamada la "curvatura de Ricci") de dicho espacio. Este hallazgo supuso una inmensa ayuda: restringiendo severamente las posibles bases para construir la teoría de la gravedad, el principio de covariancia general condujo a Einstein a formular la teoría esencialmente correcta en 1912, tan sólo unos meses después de comenzar a examinar el trabajo de Riemann, basándose en la curvatura de Ricci. Por alguna razón, sin embargo, desechó la teoría correcta de 1912 y siguió trabajando sobre una idea incorrecta. El porqué de este abandono no se conoció hasta recientemente, cuando las libretas pérdidas fueron estudiadas. Ese año, cuando construyó la teoría correcta de la gravedad, cometió un error crucial: creyó que su teoría violaba lo que era conocido como el "principio de Mach". Una versión de este principio afirmaba que la presencia de materia y energía del universo determina unívocamente el campo

gravitatorio que le rodea. Cuando se fija una cierta configuración de planetas y estrellas, el campo gravitatorio que los rodea está determinado. Imaginemos, por ejemplo, lanzar una piedrecilla en un estanque. A mayor tamaño de la piedra, mayores serán las olas provocadas en el estanque. Por lo tanto, si sabemos la masa exacta de la piedra, la distorsión del estanque puede determinarse unívocamente. De manera similar, si conocemos la masa del Sol podemos determinar el campo gravitatorio que crea a su alrededor.

Aquí es donde Einstein cometió un error: creyó que la teoría basada en la curvatura de Ricci violaba el principio de Mach porque la presencia de masa y energía no determinaba unívocamente el campo gravitatorio. Con su amigo Marcel Grossman intentó desarrollar una teoría más modesta, que tan sólo era covariante bajo rotaciones (pero no bajo aceleraciones en general). Sin embargo, dado que había abandonado el principio de covariancia, no tenía un camino claro que seguir, y pasó tres años vagando por la selva de la teoría Einstein-Grossman, que no era ni sutil ni útil -por ejemplo, no conseguía obtener las ecuaciones de Newton para campos gravitatorios débiles-. A pesar de que Einstein probablemente tenía el mejor instinto físico del mundo, esta vez lo había ignorado.

Mientras buscaba las ecuaciones finales, Einstein se concentró en tres experimentos clave que podrían demostrar sus ideas sobre el espacio curvado y la gravedad: la curvatura de la luz de las estrellas durante un eclipse, el corrimiento al rojo, y el perihelio de Mercurio. En 1911, incluso antes de que comenzara su trabajo sobre espacio curvado, Einstein esperaba que se enviara una expedición a Siberia para calcular experimentalmente el movimiento de la posición de las estrellas durante el eclipse del 21 de agosto de 1914.

El astrónomo Erwin Finlay Freundlich estudiaría este eclipse. Einstein estaba tan convencido de que su trabajo era correcto que llegó a ofrecerse para financiar el

ambicioso proyecto de su propio bolsillo. “Si todo lo demás falla, pagaré con mis escasos ahorros, por lo menos los primeros 2,000 marcos”, escribió. Finalmente un rico industrial decidió Financiar el proyecto. Freundlich fue a Siberia un mes antes del eclipse solar, pero Alemania declaró la guerra a Rusia, y él y su ayudante fueron hechos prisioneros y su equipo confiscado. (Retrospectivamente, tal vez fue una suerte para Einstein que la expedición de 1914 no tuviera éxito. Si se hubiera llevado a cabo el experimento, los resultados no habrían concordado con los predichos por la teoría incorrecta de Einstein, y todo su programa de investigación hubiera podido caer en desgracia.)

En el segundo experimento, Einstein se propuso calcular cómo la gravedad afecta la frecuencia de un rayo de luz. Si un cohete se lanza desde la Tierra hacia el espacio exterior, la gravedad de la Tierra actúa como un lastre, tirando del cohete hacia atrás. Por lo tanto, el cohete pierde energía en su lucha contra la gravedad. De manera similar, Einstein razonó que si se emitiera luz del Sol, la gravedad también actuaría como lastre, haciendo que perdiera energía. La velocidad del rayo de luz no cambiaría, pero la frecuencia de la onda disminuiría a medida que perdiese energía por el lastre de la gravedad. De esta manera, la luz amarilla del Sol disminuiría su frecuencia y se volvería roja a medida que se alejara del empuje gravitatorio del Sol. El corrimiento al rojo gravitacional, sin embargo, es un efecto muy pequeño, y Einstein no esperaba que se pudiera comprobar en un laboratorio en mucho tiempo. (De hecho se tardaría más de cuatro décadas en observar el corrimiento al rojo gravitatorio en un laboratorio.)

En último lugar se propuso resolver un problema muy antiguo: la razón por la que la órbita de Mercurio oscila y se desvía ligeramente de las leyes de Newton. Habitualmente los planetas se mueven en perfectas elipses en su viaje alrededor del Sol, más las ligeras perturbaciones debidas a los otros planetas cercanos, lo que resulta en una trayectoria similar a los pétalos de una margarita. La órbita de Mercurio, sin embargo, después de restarle la interferencia causada por la proximidad de otros planetas, muestra una pequeña pero clara desviación respecto a las leyes de Newton. La desviación,

llamada “perihelio”, fue observada por primera vez por el astrónomo Urbain Leverrier, que calculó una ligera desviación de 43,5 segundos de arco por siglo que no podía explicarse utilizando las leyes de Newton. (El hecho de que hubiera discrepancias con las leyes de Newton no era una novedad. A principios del siglo XIX, cuando los astrónomos se enfrentaron a una oscilación parecida de la órbita de Urano, tuvieron que tomar una decisión complicada: o bien abandonar las leyes del movimiento o bien plantear que existía otro planeta desconocido tirando de la órbita de Urano. Los físicos respiraron aliviados cuando en 1846 se descubrió un nuevo planeta, bautizado Neptuno, precisamente donde las leyes de Newton habían predicho que estaría.)

Pero el enigma de Mercurio continuaba sin resolverse. En vez de descartar a Newton, los astrónomos plantearon, siguiendo la tradición, que existía un planeta llamado “Vulcano" situado en una órbita entre el Sol y Mercurio. Sin embargo, tras repetidas búsquedas en el cielo nocturno, ningún astrónomo fue capaz de encontrar evidencia de dicho planeta.

Einstein estaba preparado para aceptar la interpretación más radical: tal vez las leyes de Newton eran incorrectas, o por lo menos incompletas. En noviembre de 1915, después de malgastar tres años en la teoría Einstein-Grossman, volvió a la curvatura de Ricci, que había descartado en 1912, y detectó su error clave. (Einstein había abandonado la curvatura de Ricci porque producía más de un campo gravitacional a partir de una determinada configuración de materia, al parecer violando el principio de Mach. Pero entonces, por la covariancia general, se dio cuenta de que estos campos gravitatorios eran matemáticamente equivalentes y representaban el mismo resultado físico, demostrando a Einstein el poder de la covariancia general: no solamente restringía las posibles teorías de la gravedad, sino que también producía resultados físicos únicos ya que varias soluciones gravitatorias eran equivalentes.)

Einstein, en lo que tal vez fue su esfuerzo intelectual más intenso, se recluyó

para conseguir su ecuación final, alejándose de toda distracción y trabajando sin tregua para intentar derivar el perihelio de Mercurio. Sus libretas perdidas demuestran que repetidamente proponía una solución y después calculaba si con ella obtenía las ecuaciones de Newton en el límite de campos gravitatorios pequeños. Este trabajo era particularmente tedioso, dado que sus ecuaciones tensoriales estaban formadas por diez ecuaciones diferentes en vez de la única ecuación de Newton. Si no salía bien, probaba una solución diferente para comprobar si ésta reproducía la ecuación de Newton. Esta tarea exhaustiva y casi hercúlea fue completada a finales de noviembre de 1915, dejando a Einstein completamente agotado. Después de tediosos cálculos con su antigua teoría de 1912, encontró que predecía que la desviación de la órbita de Mercurio era de 42,9 segundos de arco por siglo, dentro de los límites experimentales. Einstein se impresionó más allá de lo creíble. Esto era fantástico, la primera evidencia experimental de que su nueva teoría era correcta. "Durante varios días estuve fuera de mí mismo a causa de la excitación", recordaba. "Mis sueños más atrevidos se han hecho realidad". Einstein había realizado el sueño de una vida, encontrar las ecuaciones relativistas de la gravedad.

Lo que impresionaba a Einstein era que, a través del principio abstracto de la covariancia general, pudiera derivar un resultado experimental sólido y decisivo: "Imaginad mi alegría por la practicabilidad de la covariancia general y por el resultado de que las ecuaciones predicen correctamente el perihelio de Mercurio". Con la nueva teoría recalculó la curvatura de los rayos de luz por el Sol. La suma del espacio curvado a esta teoría resultó en un valor de 1,7 segundos de arco, el doble que su valor original (alrededor de 1/2000 grados).

Estaba convencido de que la teoría era tan simple, sutil y potente que ningún físico sería capaz de escapar de su hechizo. "Difícilmente nadie que la haya entendido de verdad será capaz de escapar del encanto de esta teoría", escribiría, "La teoría es de una belleza incomparable". Milagrosamente, el principio de la covariancia general era una herramienta tan potente que la ecuación final, que podía describir la estructura del

propio universo, tan sólo tenía unos pocos centímetros de longitud. (Hoy en día los físicos se maravillan ante una ecuación tan corta que al mismo tiempo puede describir la creación y evolución del universo. El físico Víctor Weisskopf comparó esta sensación de asombro con la de un campesino que. Ve un tractor por primera vez. Después de examinar el tractor y mirar debajo del capó, pregunta excitado: "¿Y dónde está el caballo?".)

La única cosa que deslució el triunfo de Einstein fue una disputa menor con David Hilbert, considerado el mejor matemático de su época. Cuando la teoría estaba en sus etapas finales de desarrollo, Einstein dio una serie de seis conferencias de dos horas en Göttingen para Hilbert. A Einstein todavía le faltaban algunas herramientas matemáticas (llamadas las "identidades de Bianchi") y eso le impedía derivar sus ecuaciones a partir de una forma sencilla, llamada la "acción". Más tarde, Hilbert completó el último paso, escribió la acción y publicó el resultado por su cuenta, tan sólo seis días antes que Einstein, quien no quedó satisfecho. De hecho, creía que Hilbert había intentado robar la teoría de la relatividad general completando el último paso y atribuyéndose el mérito. Finalmente la trifulca entre Einstein y Hilbert se solucionó, pero Einstein se volvió receloso a la hora de compartir sus resultados demasiado alegremente. (Hoy en día, la acción mediante la que se deriva la relatividad general se conoce como la "acción Einstein-Hilbert". Hilbert probablemente decidió resolver el último obstáculo de la teoría de Einstein porque, como él decía, "la física es demasiado importante como para dejarla en manos de los físicos"; es decir, que los físicos probablemente no tenían las aptitudes matemáticas necesarias para describir la Naturaleza. Esta impresión también la compartían otros matemáticos. El matemático Félix Klein refunfuñaba a menudo diciendo que Einstein no era un matemático innato, sino que trabajaba bajo la influencia de misteriosos impulsos físico-filosóficos. Esta es probablemente la principal diferencia entre los físicos y los matemáticos, y la razón por la que estos últimos no logran descubrir nuevas leyes físicas. Los matemáticos trabajan exclusivamente sobre dominios pequeños e independientes, como provincias aisladas. Los físicos, sin embargo, trabajan

con un conjunto de principios físicos sencillos que necesitan muchos sistemas matemáticos para ser resueltos. A pesar de que el lenguaje de la Naturaleza son las matemáticas, sus fuerzas motrices parecen ser estos principios físicos, como la relatividad o la teoría cuántica.)

Las noticias de la nueva teoría dé Einstein fueron interrumpidas por el comienzo de la guerra. En 1914, el misterioso asesinato de un archiduque yugoslavo inició la guerra más sangrienta de aquéllos tiempos, implicando a los imperios británico, austrohúngaro, ruso y prusiano en un conflicto catastrófico que acabaría con la vida de decenas de millones de personas. De la noche a la mañana, calmados y distinguidos catedráticos de las universidades alemanas se volvieron sanguinarios nacionalistas. Casi todo el profesorado de la Universidad de Berlín se vio barrido por la fiebre de la guerra y dedicó toda su energía al esfuerzo bélico. En apoyo al Kaiser, noventa y tres intelectuales prominentes firmaron el notorio "Manifiesto para el mundo civilizado", en el que llamaban a todo el mundo para que se agrupara alrededor del Kaiser y declaraban que el pueblo alemán debía desafiar las "hordas de rusos aliados con mongoles y negros que pretenden atacar a la raza blanca". El manifiesto justificaba la invasión alemana de Bélgica y proclamaba con orgullo que "el ejército alemán y el pueblo Alemán son uno. Esta conciencia une a los setenta millones de alemanes sin distinciones de educación, clase o partido". Hasta el benefactor de Einstein, Max Planck, firmó el manifiesto, así como otras personalidades como Félix Klein y físicos como Wilhelm Röntgen (descubridor de los Rayos X), Walther Nemst y Wilhelm Ostwald.

Einstein, pacifista convencido, se negó a firmar el manifiesto. Georg Nicolai, el médico de Elsa, era un prominente activista antibelicista y pidió a cien intelectuales que firmaran un contra-manifiesto. Dada la abrumadora histeria que reinaba en Alemania, tan sólo cuatro lo firmaron, entre ellos Einstein, quien tan sólo podía mover la cabeza con incredulidad escribiendo: "Es increíble lo que Europa ha desatado con esta locura", y añadía tristemente: "En estos momentos uno se da cuenta de lo absurda que es la

especie animal a la que pertenece”.

En 1916 el mundo de Einstein se tambaleó una vez más con la sobrecogedora noticia de que su buen amigo, el idealista Friedrich Adler, el mismo físico que generosamente le había cedido el puesto de catedrático en la Universidad de Zúrich, había asesinado al primer ministro austríaco, el conde Karl von Stürgkh, en un atestado restaurante vienés, al grito de “¡Abajo la tiranía! ¡Queremos paz!”. El país entero estaba aterrado por la noticia de que el hijo del fundador del Partido Socialdemócrata de Austria había cometido un incalificable homicidio contra la nación. Adler fue enviado inmediatamente a prisión, donde se enfrentaba a una posible pena capital. Mientras esperaba el juicio, Adler volvió a su pasatiempo preferido, la física, y comenzó a escribir un largo ensayo en que criticaba la teoría de la relatividad de Einstein. De hecho, en medio de la confusión causada por el asesinato y sus consecuencias potenciales, se entretenía a sí mismo con la idea de que había encontrado un error crucial en la teoría de la relatividad.

Viktor, el padre de Adler, se aferró a la única defensa posible para su hijo. Dándose cuenta de que las enfermedades mentales abundaban en la familia, Viktor aseguró que su hijo estaba mentalmente enfermo y suplicó indulgencia. Como prueba de su locura, Viktor remarcó el hecho de que su hijo estaba intentando derrocar la generalmente aceptada teoría de la relatividad. Einstein ofreció ser testigo, pero jamás lo llamaron a declarar. A pesar de que inicialmente el jurado declaró a Adler culpable y lo sentenció a morir ahorcado, la sentencia fue conmutada por cadena perpetua gracias a los ruegos de Einstein y otros. (Curiosamente, con el consiguiente derrocamiento del gobierno tras la Primera Guerra Mundial, Adler fue liberado en 1918 y obtuvo los votos suficientes para llegar a la Asamblea Nacional Austriaca, donde se convirtió en una de las figuras más carismáticas del movimiento laborista.)

La guerra y el esfuerzo mental necesario para crear la relatividad general

inevitablemente pasaron factura a la salud de Einstein, que siempre había sido precaria. Finalmente cayó enfermo en 1917, a causa de un colapso general. Estaba tan debilitado por el hercúleo esfuerzo intelectual realizado que era incapaz de salir de su apartamento. Su peso disminuyó peligrosamente en 25 kilogramos en tan sólo dos meses. Se convirtió en una carcasa de lo que había sido y creyó que moría de cáncer, pero le fue diagnosticada una úlcera estomacal. El médico le recomendó reposo absoluto y un cambio dé dieta. Durante este periodo, Elsa se convirtió en una compañera inseparable, cuidando al convaleciente Einstein hasta su mejora. La relación de Einstein con Elsa y sus hijas se hizo mucho más estrecha, especialmente después de mudarse éstas a un apartamento junto al suyo.

En junio de 1919, Einstein finalmente se casó con Elsa. Con ideas muy concretas sobre cómo debería vestir un catedrático distinguido, Elsa le acompañó en su transformación de bohemio y soltero profesor en marido elegante y domesticado, tal vez preparándole para el siguiente cambio que experimentaría en su vida y que le convertiría en un héroe para todo el mundo.

EL NUEVO COPÉRNICO

Einstein, recuperándose de la desorganización y caos de la Primera Guerra Mundial, esperaba con ansiedad el análisis de los resultados del siguiente eclipse solar, que sería el día 29 de mayo de 1919. Un científico británico, Arthur Eddington, estaba interesado en llevar a cabo el decisivo experimento para comprobar la teoría de Einstein. Eddington era el secretario de la Royal Astronomical Society de Inglaterra y estaba tan familiarizado con la observación astronómica por telescopio como con las matemáticas necesarias para profundizar en la teoría de la relatividad general. También tenía otra razón para desear realizar el experimento: era cuáquero, y sus creencias pacifistas le impedían formar parte del ejército británico durante la guerra. De hecho, ya se había hecho a la idea de ser encarcelado por negarse a ir a la guerra. Los directivos de la Universidad de Cambridge temían un escándalo si una de sus jóvenes estrellas iba a prisión como objetor de conciencia, así que decidieron negociar una prórroga alegando la excusa de que estaba llevando a cabo un deber cívico: liderar una expedición para observar el eclipse solar de 1919 y probar la teoría de Einstein. Así pues, liderar la expedición para probar la relatividad general se convirtió en su particular contribución patriótica al esfuerzo bélico de su país.

Arthur Eddington levantó un campamento en la isla de Príncipe, en el golfo de Guinea, mar adentro en la costa oeste de África, y otro equipo, liderado por Andrew Crommelin, se embarcó hacia Sobral, en el norte de Brasil. Las pésimas condiciones atmosféricas, con nubes lluviosas bloqueando el sol, casi arruinaron el experimento. Pero las nubes milagrosamente se separaron lo justo para poder fotografiar las estrellas a la una y media del mediodía.

No obstante, pasarían meses antes de que los equipos volvieran a Inglaterra y analizaran los datos cuidadosamente. Cuando Eddington comparó sus fotografías con otras tomadas varios meses antes en Inglaterra con el mismo telescopio, descubrió una desviación media de 1,61 segundos de arco, mientras que el equipo de Sobral determinó

un valor de 1,98 segundos de arco. Tomando el valor medio, calcularon que la desviación media había sido de 1,79 segundos de arco, que dentro del error experimental confirmaba la predicción de Einstein de 1,74. Eddington recordaría orgullosa- mente más tarde que verificar la teoría de Einstein fue el mejor momento de su vida.

El 22 de septiembre de 1919, Einstein finalmente recibió un telegrama de Hendrik Lorentz informándole de las fantásticas noticias. Einstein, entusiasmado, escribió a su madre: "Querida Madre. Buenas noticias. H. A. Lorentz me ha enviado un telegrama diciendo que la expedición inglesa ha demostrado la desviación de la trayectoria de la luz alrededor del Sol". Aparentemente, Max Planck pasó en vela toda la noche para ver si los resultados del eclipse solar verificarían la relatividad general. Einstein bromeó más tarde: "Si hubiera entendido de verdad la teoría de la relatividad general, se habría ido a dormir como yo hice".

A pesar de que la comunidad científica hervía con las sorprendentes noticias de la nueva teoría de la gravedad de Einstein, la conmoción pública no estalló hasta que tuvo lugar una reunión conjunta de la Royal Society y la Royal Astronomical Society en Londres el 6 de noviembre de 1919. Einstein, de repente, pasó de ser un distinguido catedrático berlinés de física a convertirse en una verdadera figura mundial, digno sucesor de Isaac Newton. En aquella reunión, Alfred Whitehead apuntó: "había un ambiente de tenso interés, exactamente como el de un drama griego". Sir Frank Dyson fue el primero en hablar: "Tras un minucioso estudio de las placas, estoy en condiciones de decir que sin ninguna duda confirman la predicción de Einstein. Se ha obtenido un resultado muy claro de que la luz se desvía de acuerdo con la ley de la gravedad de Einstein", dijo. El premio Nobel J. J. Thompson, presidente de la Royal Society, dijo solemnemente que ese era "uno de los mayores logros de la historia del pensamiento humano. No es el descubrimiento de una isla apartada, sino de todo un continente de nuevas ideas científicas. Sin duda es el mayor descubrimiento relacionado con la gravedad desde que Newton enunció sus principios".

Según la leyenda, cuando Eddington salía de la reunión, otro científico le paró y le preguntó: “Corre el rumor de que tan sólo hay tres personas en el mundo que entiendan la teoría de Einstein. Usted debe ser uno de ellos”. Ante el silencio de Eddington, el científico le dijo: “No sea modesto, Eddington”. Eddington se encogió de hombros y le respondió: “En absoluto. Me preguntaba quién puede ser el tercero”.

Al día siguiente, el *Times* de Londres publicaba la noticia en portada: “Revolución en la ciencia - Nueva teoría del universo Desbancadas las ideas de Newton - Trascendental declaración - Espacio distorsionado”. (Eddington escribió a Einstein: “Toda Inglaterra habla de tu teoría... Es lo mejor que podía haber ocurrido para las relaciones científicas entre Alemania e Inglaterra”. Los periódicos de Londres subrayaban que Einstein no había firmado el infame manifiesto de los noventa y tres intelectuales alemanes que tanto había enfurecido a los intelectuales ingleses.)

Eddington, de hecho, sería el principal defensor de Einstein y el guardián de su causa en el mundo angloparlante, defendiendo la relatividad general ante todos sus contrincantes. Como Thomas Huxley en el siglo anterior, que había sido el “bulldog de Darwin” al impulsar la herética teoría de la evolución en una Inglaterra victoriana profundamente religiosa, Eddington utilizaría toda su fuerza, reputación científica y considerable capacidad de debate para impulsar la teoría de la relatividad. Esta extraña unión entre dos pacifistas, un cuáquero y un judío, ayudó a la teoría de la relatividad a llegar al mundo angloparlante.

Tan de repente fue difundida esta historia por los canales mediáticos mundiales, que cogió a numerosos periódicos desprevenidos. El *New York Times* envió rápidamente a su experto de golf, Henry Crouch, para que cubriera esta impactante noticia, sumando numerosos errores en el proceso. El *Manchester Guardian* envió a su crítico de música a cubrir la noticia. Más tarde, el *Times de* Londres pidió a Einstein que presentara su nueva teoría en un artículo. Para ilustrar el principio de la relatividad,

escribió en el *Times:* “Hoy en Alemania me consideran un científico alemán, y en Inglaterra aparezco como judío suizo. Si algún día se me considera una *béte noire,* las descripciones se intercambiarán, y me convertiré en un judío suizo para los alemanes y un científico alemán para los ingleses”.

Pronto centenares de periódicos pedían a gritos una entrevista con este genio confirmado, el sucesor de Copérnico y Newton. Einstein era perseguido por periodistas impacientes por la proximidad de la fecha límite de entrega de su reportaje. Parecía que esta noticia estaba en la portada de todos los periódicos del mundo. Tal vez el público, exhausto por la carnicería y el sin sentido de la Gran Guerra, necesitaba una figura mítica que interviniera en sus mitos y leyendas más profundas sobre las estrellas celestes, el misterio de las cuales ha estado siempre en sus sueños. Einstein, además, había redefinido la imagen del genio. En vez de un personaje reservado, el público estaba encantado de que este mensajero de las estrellas fuera un joven Beethoven, incluido el cabello despeinado y la ropa arrugada, que podía bromear con la prensa y entretener a las multitudes con ingeniosas frases.

“En la actualidad, todos los taxistas y todos los camareros discuten sobre si la teoría de la relatividad es correcta. La posición de una persona sobre esta cuestión depende del partido político al que pertenezca”, escribió a sus amigos. Pero después de que pasara la novedad, comenzó a ver el sentido negativo de tanta publicidad. “Desde la inundación de artículos en los periódicos –escribía- me he visto tan abrumado con preguntas, invitaciones, retos, que sueño que estoy consumiéndome en el infierno y el cartero es el demonio eternamente rugiéndome, lanzándome nuevos paquetes de cartas sobre la cabeza porque todavía no he respondido las anteriores”, concluyó en que “este mundo es un manicomio curioso” con él mismo en el centro del “circo de la relatividad”, como solía llamarlo. “Me siento como una prostituta. Todo el mundo quiere saber lo que estoy haciendo”, se lamentaba. Buscadores de curiosidades, chiflados, promotores de circo, todos pedían a gritos un trozo de Albert Einstein. El *Berliner Illustrite Zeitung* detalló

algunos de los problemas a los que se enfrentaba el súbitamente famoso científico, quien rechazó una generosa oferta de un agente del London Palladium para incluirle en un espectáculo con comediantes, caminantes sobre la cuerda floja y tragadores de fuego. Einstein siempre podía rechazar las ofertas que le convertirían en una curiosidad, pero no podía evitar que pusieran su nombre a bebés o a marcas de puros.

Era inevitable que algo tan repentino como el descubrimiento de Einstein provocara a ejércitos de escépticos a montar un contraataque. Los escépticos estaban liderados por el *New York Times.* Después de recuperarse del golpe inicial de ser barrido por la prensa británica, sus editores se mofaron de los ingleses por ser tan ingenuos, por haber aceptado tan fácilmente las teorías de Einstein. El *New York Times* escribió que los británicos "parecen haber sufrido una especie de pánico intelectual cuando se enteraron de la verificación fotográfica de la teoría de Einstein... Se están recuperando lentamente a medida que se dan cuenta de que el Sol todavía sale -aparentemente- por el este". Lo que molestaba a los editores de Nueva York y levantó su sospecha fue que tan poca gente en el mundo entendiera la teoría. Los editores se lamentaban de que esta situación estaba cerca de ser antiamericana y antidemocrática. ¿Era posible que un bromista se estuviera riendo del mundo entero?

En el mundo académico, los escépticos fueron legitimados por el catedrático de mecánica celeste de la Universidad de Columbia, Charles Lañe Poor, quien lideró la acusación afirmando errónea- mente que "las supuestas pruebas astronómicas de la teoría, citadas y aducidas por Einstein, no existen". Poor comparó al autor de la teoría de la relatividad con los personajes de Lewis Carroll: "He leído varios artículos sobre la cuarta dimensión, la teoría de la relatividad de Einstein y otras especulaciones psicológicas sobre la constitución del universo; y después de leerlos me siento como se sintió el senador Brandegee después de una famosa cena en Washington. Me siento, dijo, como si hubiera estado vagando con Alicia en el País de las Maravillas y hubiera tomado té con el sombrerero loco". El ingeniero George Francis Gillette proclamó que la

relatividad era "física bizca... completamente loca... el mongólico producto mental de un cólico cerebral... el nadir de las tonterías... y vudú sin sentido. Para 1940, la relatividad se considerará una broma. Einstein ya está muerto y enterrado junto a Anderson, Grimm y el sombrerero loco". Irónicamente, la única razón por la que los historiadores todavía recuerdan a estos personajes es por sus fútiles retahílas contra la relatividad. Uno de los principios de la buena ciencia es que la física no se determina por una encuesta de popularidad o por las editoriales del *New York Times,* sino por cuidadosa experimentación. Como Max Planck dijo una vez, refiriéndose a las feroces críticas que recibió al presentar su teoría cuántica, "Una nueva verdad científica no prevalece porque sus oponentes se declaren persuadidos o convencidos, sino porque los oponentes desaparecen eventualmente y una nueva generación se familiariza con dicha verdad desde el principio". Einstein llegó a declarar que "los grandes espíritus siempre han encontrado la oposición violenta de mentes mediocres".

Desgraciadamente, la adulación a Einstein por parte de la prensa estimuló el odio, los celos y la intolerancia del creciente ejército de sus detractores. El antisemita más notorio de la comunidad científica era Philipp Lenard, un ganador del Nobel que estableció la relación de proporcionalidad con la frecuencia del efecto fotoeléctrico, un resultado que finalmente fue explicado por la teoría de Einstein de los cuantos de luz, los fotones. Mileva llegó a asistir a alguna conferencia de Lenard cuando estaba en Heidelberg. En publicaciones sensacionalistas, desautorizaba a Einstein diciendo que era un "fraude judío" y que la relatividad "podía haberse predicho desde el comienzo -si la teoría de las razas fuera más conocida- dado que Einstein era judío". Finalmente, se convirtió en el líder de lo que se llamaba la Liga de la Antirrelatividad, dedicada a purgar la "física judía" de Alemania y a establecer la pureza de la física aria. Lenard no estaba solo en absoluto en el mundo de la física. Se le unieron muchos de la clase científica dirigente alemana, incluyendo do al premio Nobel Johannes Stark y Hans Geiger (inventor del contador Geiger).

En agosto de 1920, este virulento grupo de detractores alquiló el enorme Salón Filarmónico de Berlín con el único objetivo de difamar la teoría de la relatividad. Einstein estaba entre el público. Soportó una serie de furiosos conferenciantes que le denunciaron públicamente como canalla, plagiador y charlatán. Al cabo de un mes hubo una confrontación similar, esta vez en el encuentro de la Sociedad de Científicos Alemanes en Bad Nauheim. Policías armados vigilaban la entrada del edificio en previsión de posibles altercados o manifestaciones. Einstein fue insultado y abucheado cuando intentó responder a alguna de las acusaciones de Lenard. Noticias de este estridente episodio llegaron a los periódicos londinenses, y el pueblo británico se alarmó que el mejor científico de Alemania fuera perseguido en su propio país. El representante del ministerio de Asuntos Exteriores alemán en Londres, para acallar dichos rumores, dijo que sería catastrófico para Alemania si Einstein se marchara, y que “no debemos alejar a un hombre como éste... que podemos utilizar para hacer propaganda cultural muy eficaz”.

En abril de 1921, con invitaciones de todos los rincones del mundo, Einstein decidió utilizar su nueva celebridad para promover no sólo la relatividad, sino también sus otras causas, que ahora incluían la paz y el sionismo. Finalmente había redescubierto sus raíces judías. En largas conversaciones con su amigo Kurt Blumenfeld, comenzó a apreciar el profundo sufrimiento infligido sobre el pueblo judío a lo largo de los siglos. Blumenfeld, escribió, era el responsable de que “fuese consciente de mi alma judía”. Chaim Weizmann, un líder sionista, se empeñó en la idea de utilizar a Einstein para obtener financiación para la Universidad Hebrea de Jerusalén. El plan incluía una gira de Einstein por Estados Unidos.

Tan pronto atracó el barco de Einstein en la bahía de Nueva York, éste se vio acosado por los periodistas. Multitudes se agolpaban en las calles para ver el desfile de automóviles, y le vitoreaban cuando Einstein les devolvía el saludo desde su limusina descapotable. “¡Es como el circo Barnus!”, dijo Elsa cuando le lanzaron un ramo de flores.

Einstein musitó que "las mujeres de Nueva York quieren tener un nuevo estilo cada año. Este año la moda es la relatividad". Y añadió: "¿Tengo algo de charlatán o hipnotizador para que la gente se agolpe a mi alrededor como si fuera un payaso de circo?".

Como se esperaba, Einstein despertó intensamente el interés del público y popularizó la causa sionista. Partidarios, buscadores de curiosidades y admiradores judíos llenaban todos los auditorios en los que intervino. Una multitud de ocho mil personas se apiñó en la Armería del Regimiento Sesenta y Nueve, mientras que tres mil personas más se tuvieron que quedar en la calle, esperando entrever fugazmente al genio. La recepción de Einstein en el City College de Nueva York fue uno de los momentos estelares del viaje. Isidor Isaac Rabi, que más tarde ganaría un Premio Nobel, tomó copiosas notas de la conferencia de Einstein y se maravilló de que, al contrario que otros físicos, tuviera un carisma con el que se ganaba al público. (Todavía hoy, una fotografía de todos los estudiantes del City College apiñándose en tomo a Einstein está colgada en la oficina del director de esta institución.).

Después de dejar Nueva York, el viaje de Einstein a través de Estados Unidos fue una rápida gira, pasando por diversas grandes ciudades. En Cleveland, tres mil personas se abalanzaron sobre él. Escapó de "posible daño grave tan sólo gracias a los esfuerzos de un grupo de veteranos de guerra judíos que apartaban a la gente que hacía todo lo posible por verlo". En Washington se reunió con el presidente Warren G. Hardin. Desgraciadamente no pudieron comunicarse, dado que Einstein no hablaba inglés y Hardin no hablaba ni alemán ni francés. (En conjunto, la veloz gira de Einstein recaudó casi un millón de dólares, 250.000 de los cuales en una cena en el Hotel Waldorf Astoria donde habló ante ochocientos doctores judíos.)

Sus viajes por Estados Unidos no sólo ilustraron a millones de americanos sobre los misterios del espacio y el tiempo, sino que también reafirmaron la dedicación profunda de Einstein a la causa judía. Habiendo crecido en una familia europea,

acomodada y de clase media, no era consciente del sufrimiento de los judíos alrededor del mundo. "Fue la primera vez en mi vida que vi a judíos en masa" [...] "No descubrí al pueblo judío hasta que llegué a Estados Unidos. Había visto muchos judíos, pero ni en Berlín ni en ningún otro lugar de Alemania me había encontrado con el pueblo judío. La gente judía que vi en Estados Unidos provenían de Rusia, de Polonia, y en general de Europa del Este".

Después de Estados Unidos, Einstein fue a Inglaterra, donde se reunió con el arzobispo de Canterbury. Para alivio del clero, Einstein le aseguró que la teoría de la relatividad no dinamitaría la moral del pueblo ni su fe en la religión. Almorzó con los Rothschild y conoció al gran físico clásico Lord Rayleigh, quien dijo a Einstein: "Si sus teorías son acertadas, entiendo... que sucesos como, por ejemplo, la conquista de Normandía, todavía no han sucedido". Cuando le presentaron a Lord Haldane y a su hija, ésta se desmayó al verlo. Más tarde, Einstein homenajeó a Isaac Newton visitando su tumba en el camposanto más sagrado de Inglaterra, Westminster Abbey, y colocando upa guirnalda de flores. En marzo de 1922 Einstein recibió una invitación para hablar en el College de France, y fue asediado por la prensa parisina y enormes multitudes. Un periodista observó: "Se ha convertido en la gran moda. Académicos, políticos, artistas, agentes de policía, taxistas y ladronzuelos saben cuándo son las conferencias de Einstein. *Tout* París lo sabe todo y cuenta todavía más de lo que sabe sobre Einstein". El viaje se vio envuelto en la controversia cuando un grupo de científicos, todavía resentidos de las heridas de la Primera Guerra Mundial, boicotearon su charla bajo la excusa de que no podían asistir porque Alemania no era miembro de la Liga de Naciones. (Un periódico parisino replicó: "Si un alemán descubriera la cura del cáncer o la tuberculosis, ¿esperarían estos treinta académicos a que Alemania fuera miembro de la Liga de las Naciones para usarla?".)

La vuelta de Einstein a Alemania, sin embargo, se vio empañada por la inestabilidad política del Berlín de posguerra. No era buena señal que abundaran los

asesinatos políticos. En 1919 los líderes socialistas Rosa Luxemburg y Karl Liebknecht habían sido asesinados. En abril de 1922 Walter Rathenau, un físico judío y colega de Einstein que había ascendido hasta el cargo de ministro de Asuntos Exteriores alemán, fue ametrallado mientras conducía su coche. Unos días más tarde, Maximilian Harden, otro judío prominente, resultó gravemente herido en otro intento de asesinato.

Se declaró un día de luto nacional, y los teatros, escuelas y universidades cerraron sus puertas en honor a Rathenau. Un millón de personas se congregaron en silencio cerca del edificio del Parlamento, donde se llevaban a cabo los servicios funerarios. Sin embargo, Philipp Lenard se negó a cancelar sus clases en el Instituto de Física de Heidelberg. (Previamente había llegado a defender el asesinato de Rathenau. En el día de luto, un grupo de trabajadores intentó persuadir a Lenard para que cancelara sus clases, pero fueron disuadidos con agua lanzada desde el segundo piso de su edificio. Los trabajadores forzaron la entrada del edificio y arrastraron a Lenard fuera. Estaban a punto de tirarlo al río cuando la policía intervino.)

Ese mismo año un joven alemán, Rudolph Leibus, fue acusado en Berlín de ofrecer una recompensa por el asesinato de Einstein y otros intelectuales, diciendo que era "un deber nacional asesinar a estos líderes de sentimientos pacifistas". Fue declarado culpable pero tan sólo castigado con dieciséis dólares de multa. (Einstein se tomó estas amenazas en serio, tanto las de antisemitas como de personajes desquiciados. En cierta ocasión una, inmigrante rusa con problemas mentales, Eugenia Dickson, escribió a Einstein una serie de cartas en las que le acusaba de ser un impostor que se disfrazaba del verdadero Einstein, y asaltó su casa con el objetivo de matarlo. Pero antes de que esta mujer enferma pudiera atacarlo, Elsa forcejeó con ella en la puerta y logró llamar a la policía.)

Einstein, enfrentado a esta peligrosa oleada de antisemitismo, decidió aprovechar la ocasión para hacer una nueva gira mundial, esta vez hacia Oriente. El

filósofo y matemático Bertrand Russell estaba dando unas conferencias en Japón cuando sus anfitriones le preguntaron cuáles eran las personas más ilustres del mundo para que vinieran a hablar a Japón. Inmediatamente sugirió los nombres de Lenin y Einstein. Dado que Lenin, por supuesto, no estaba disponible, la invitación se envió a Einstein, quien la aceptó y comenzó su odisea en enero de 1923. “La vida es como montar en bicicleta. Para mantenerte en equilibrio no debes parar de moverte”, escribió. Mientras estaba en ruta por Japón y China, Einstein recibió un mensaje de Estocolmo que muchos consideraron que llegaba con retraso. El telegrama confirmaba que había ganado el Premio Nobel de Física. Pero no ganó el Premio por la relatividad, su logro cumbre, sino por el efecto fotoeléctrico. Cuando Einstein finalmente hizo su discurso de agradecimiento por el Premio, sorprendió a la audiencia al hablar exclusivamente de la relatividad, y no del efecto fotoeléctrico.

¿Qué hizo que Einstein, sin duda la figura más relevante y respetada de la física, tardará tanto en obtener el Premio Nobel? Irónicamente, había sido rechazado ocho veces por el comité del Premio Nobel entre 1910 y 1921. Durante ese periodo, numerosos experimentos habían confirmado la teoría de la relatividad. Sven Hedin, miembro del comité, confesó más tarde que el problema había sido Lenard, que tenía mucha influencia sobre los demás jueces, incluyendo á Hedin. El físico ganador del Premio Nobel Robert Millikan también recordó que el comité, dividido sobre la teoría de la relatividad, otorgó a un miembro la tarea de evaluar la teoría: “Pasó todo el tiempo posible estudiando la teoría de la relatividad de Einstein. No pudo entenderla. No se atrevieron a darle el Premio por el riesgo de que después la teoría se demostrara errónea”:

Como había prometido, Einstein envió íntegramente el dinero del Premio Nobel a Mileva como parte de su acuerdo de divorcio (32,000 dólares de 1923). Esta acabaría utilizando el dinero para adquirir tres casas de apartamentos en Zúrich.

Entre los años veinte y treinta, Einstein había aparecido como un gigante en la escena mundial. Los periódicos pedían a voces entrevistas, su cara sonreía desde noticiarios cinematográficos, se veía inundado con propuestas de conferencias, y los periodistas publicaban cualquier pequeñez trivial que encontraban sobre su vida. Einstein bromeaba que era como el rey Midas, con la diferencia de que todo lo que él tocaba se convertía en un titular. La clase de 1930 de la Universidad de Nueva York, cuando escogieron a la figura más popular del mundo, eligieron a Charles Lindbergh en primer lugar y a Einstein en segundo, por delante de todas las estrellas de Hollywood. Estuviera donde estuviera, su presencia atraía enormes multitudes. Cuatro mil personas casi iniciaron un motín en la proyección de una película que explicaba la relatividad en el Museo Americano de Historia Natural de Nueva York. Un grupo de industriales llegó a financiar la construcción de la Torre Einstein en Postdam, Alemania, un futurístico observatorio solar construido en 1924 donde se alojó un telescopio sobre una torre de 16 metros. Einstein estaba tan solicitado por artistas y fotógrafos que deseaban captar la imagen del genio que añadió en su descripción laboral "modelo de artistas".

Esta vez, sin embargo, no cometió el error que había cometido con Mileva, ignorándola en sus giras mundiales. Para el deleite de Elsa, la llevó consigo cuando visitaba a las grandes celebridades, realeza y clase dirigente. Elsa, a su vez, adoraba a su marido y se glorificaba en su fama mundial, era "amable, cariñosa, maternal, y prototípicamente burguesa, [y] le encantaba cuidar de su Albertle".

En 1930 Einstein hizo su segundo viaje triunfal a Estados Unidos. Durante su visita a San Diego, el humorista Will Rogers dijo sobre Einstein: "Comió con todo el mundo, habló con todos, posó para todo aquel al que le quedara carrete en la cámara, asistió a todos los almuerzos, todas las cenas, todos los estrenos, todas las bodas y a dos tercios de los divorcios. De hecho, fue tan buen chico que nadie tuvo el valor para preguntarle qué era su teoría". Visitó el Instituto de Tecnología de California y el observatorio del Monte Wilson, donde se reunió con el astrónomo Edwin Hubble, que

había verificado alguna de sus teorías sobre el universo. También visitó Hollywood y tuvo una recepción propia de una gran estrella. En 1931 asistió con Elsa al estreno mundial de la película de Charlie Chaplin *City Lights.* El gentío se esforzaba por echar un vistazo al científico mundialmente famoso junto a la realeza de Hollywood. En el estreno, cuando la audiencia vitoreaba enérgicamente a Chaplin y Einstein, Chaplin comentó: "La gente me aplaude a mí porque todo el mundo me entiende, y le aplaude a usted porque nadie le entiende". Einstein, desconcertado por la locura que puede desatar la celebridad, preguntó qué significaba todo aquello. Chaplin respondió sabiamente: "Nada". (Cuando visitó la iglesia neoyorquina de Riverside, al ver su rostro en una vidriera junto a los grandes filósofos, líderes y científicos del mundo bromeó: "Podría haber imaginado que me convertirían en un santo judío, ¡pero jamás pensé que me pudiera convertir en uno protestante!".)

A Einstein también le buscaban por su filosofía y su religión. Su reunión con otro premio Nobel, el místico indio Rabindranath Tagore, atrajo considerablemente la atención de la prensa. Hacían una curiosa pareja, con el cabello blanco despeinado de Einstein y la igualmente espectacular larga barba blanca de Tagore. Un periodista comentó: "Fue interesante verlos juntos -Tagore, el poeta con mentalidad de pensador, y Einstein, el pensador con mentalidad de poeta—. Para un observador parecía como si dos planetas se hubieran puesto a charlar".

Desde que leyó a Kant de joven, Einstein se volvió desconfiado hacia la filosofía tradicional, considerando que a menudo degeneraba en una mistificación pomposa pero en el fondo simplista. Escribió: "¿No está toda la filosofía escrita con miel? Parece fantástica cuando uno la mira, pero cuando la mira de nuevo se ha esfumado por completo. Tan sólo quedan sensiblerías": Tagore y Einstein estaban en desacuerdo respecto a si el mundo podía existir independientemente de la existencia humana. Mientras que Tagore mantenía la creencia de que la existencia humana era vital para la realidad, Einstein respondía que "el mundo, desde el punto de vista físico, existe

independientemente de la conciencia humana”. A pesar de que diferían en la cuestión de la realidad física, encontraron más puntos de acuerdo en cuestiones de religión y moralidad. Einstein creía que la moralidad la dictaba la humanidad, no Dios. “La moralidad es de suma importancia, pero para nosotros, no para Dios”, observó Einstein. “No creo en la inmoralidad del individuo, y considero la ética una preocupación exclusivamente humana sobre la que no hay ninguna autoridad sobrehumana”.

A pesar de su escepticismo hacia la filosofía tradicional, guardaba un profundo respeto por los misterios que plantea la religión, especialmente la naturaleza de la existencia. “La ciencia sin religión cojea, la religión sin ciencia es ciega”, escribiría. También atribuiría a esta interpretación del misterio la fuente de toda la ciencia: “Todas las especulaciones válidas en el dominio de la ciencia proceden de un profundo sentimiento religioso”. Einstein escribió que una experiencia más bella y profunda que un hombre puede experimentar es el sentimiento de lo misterioso. Es el principio, subyacente de la religión, así como de cualquier proyecto serio en las artes o la ciencia”. Y concluyó: “Si hay algo en mí que se puede considerar religioso, es la admiración sin límites de la estructura del mundo hasta donde la ciencia la puede desvelar”. Tal vez su afirmación más explícita y elegante sobre religión fue escrita en 1929: “Ni soy ateo ni creo que me pueda considerar panteísta. Somos como un niño pequeño entrando en una enorme biblioteca llena de libros en idiomas diferentes. El niño sabe que alguien ha escrito esos libros. No sabe cómo. No entiende los idiomas en los que están escritos. El niño sospecha vagamente la existencia de una ordenación de los libros pero no sabe cuál es. Esa, me parece, es la actitud del ser humano más inteligente ante Dios. Vemos un universo maravillosamente ordenado que obedece ciertas leyes, pero tan sólo las conocemos vagamente. Nuestras mentes limitadas no pueden entender la misteriosa fuerza que mueve las constelaciones. Me fascina el panteísmo de Spinoza, pero admiro más sus contribuciones al pensamiento moderno por haber sido el primero en tratar el alma y el cuerpo como uno solo, no como dos cosas separadas”.

Einstein a menudo haría la distinción entre dos tipos de dioses, que a menudo se confunden en las conversaciones sobre religión. En primer lugar hay el Dios personal, el Dios que responde a las oraciones, separa las aguas y realiza milagros. Este es el Dios de la Biblia, el Dios de la intervención. Después hay el Dios en el que Einstein creía, el Dios de Spinoza, el Dios que creó las simples y elegantes leyes que gobiernan el universo.

Incluso en medio de este circo mediático, Einstein milagrosamente jamás perdió su concentración y dedicó todos sus esfuerzos a investigar las leyes del universo. Mientras viajaba en barcos transatlánticos o en largos viajes de tren, logró aislarse de las distracciones y concentrarse en su trabajo. Y lo que intrigaba a Einstein entonces era la capacidad de sus ecuaciones para solucionar la estructura del propio universo.

EL BIG BANG Y LOS AGUJEROS NEGROS

¿Tuvo principio el universo? ¿Es el universo finito o infinito? A medida que, como Newton había hecho antes, comenzó a preguntarse qué decía su teoría sobre el universo, Einstein se topó con las mismas cuestiones que habían desconcertado a los físicos durante siglos.

En 1692, cuatro año después de que Newton acabara su obra maestra, *Philosophae Naturalis Principia Mathematica,* recibió una carta de un ministro, Richard Bentley, que le dejó perplejo. Bentley observaba que si la gravedad era estrictamente atractiva y nunca repulsiva, cualquier grupo estático de estrellas necesariamente colapsaría sobre sí mismo. Esta observación simple pero contundente era desconcertante, ya que el universo parecía lo suficientemente estático, pero su gravitación universal, con el tiempo, haría colapsar al universo sobre sí mismo. Bentley había aislado el problema al que se enfrenta cualquier cosmología en la que la gravedad es una fuerza atractiva: un universo finito debe ser necesariamente inestable y dinámico.

Después de considerar esta complicada cuestión, Newton escribió una respuesta a Bentley afirmando que el universo, para evitar este colapso, debe estar formado por una colección uniforme e infinita de estrellas. Si el universo realmente fuese infinito, entonces cada estrella se vería empujada por igual en todas las direcciones, de manera que éste permanecería estático a pesar de que la gravedad fuese estrictamente atractiva. Newton escribió que "si la materia está dispuesta uniformemente por todas partes del universo, jamás podría unirse en una sola masa... y así se podrían formar el Sol y las estrellas fijas".

Pero si se hacía esta suposición, se planteaba un nuevo problema, conocido como la "paradoja de Olbers", La cuestión era, simplemente, por qué el cielo nocturno es negro. Si el universo es realmente infinito, estático y uniforme, deberíamos ver estrellas

miráramos donde miráramos. Por lo tanto, siempre llegaría una cantidad de luz infinita a nuestros ojos de todas direcciones y, por lo tanto, el cielo debería estar iluminado, no negro. De manera que si el universo era uniforme y finito, colapsaría, pero si era infinito, ¡el cielo debería estar ardiendo!

Más de doscientos años después, Einstein se enfrentó a los mismos problemas pero de manera encubierta. En 1915, el universo era un lugar confortable, supuestamente formado por una galaxia estática y solitaria, la Vía Láctea, una brillante pincelada de luz que atravesaba el cielo nocturno y estaba formada por miles de millones de estrellas. Pero cuando Einstein comenzó a resolver sus ecuaciones, se encontró con algo inquietante e inesperado. Supuso que el universo estaba formado por un gas uniforme, que aproximaba las estrellas y las nubes de polvo. Pero, para más consternación, descubrió que el universo era dinámico, podía expandirse o contraerse y jamás era estático. De hecho, pronto se encontró en las arenas movedizas de las cuestiones cosmológicas que habían intrigado a los filósofos y físicos como Newton durante milenios. Los universos finitos jamás eran estables bajo la gravedad.

Einstein, obligado a enfrentarse a un universo dinámico expandiéndose o contrayéndose, como hizo Newton, todavía no estaba preparado para descartar la visión de un universo estático e intemporal. Einstein el revolucionario todavía no era lo suficientemente revolucionario como para aceptar que el universo estaba expandiéndose o que tuviera un principio. En 1917 introdujo lo que se podría llamar un “factor de inconcreción” en sus ecuaciones, la “constante cosmológica”. Este factor creaba una antigravedad repulsiva que se equilibraba con la fuerza atractiva de la gravedad. Esto convertía el universo en estático.

Para llevar a cabo esta deducción Einstein se dio cuenta de que la covariancia general, el principio matemático que le llevó a la relatividad general, permite dos objetos generalmente covariantes: la curvatura de Ricci (que es la base de la relatividad general)

y el volumen del espacio-tiempo. Por tanto, era posible introducir un segundo término en sus ecuaciones que fuese coherente con el principio de covariancia general y proporcional al volumen del universo. En otras palabras, la constante cosmológica asignaba energía al espacio vacío. Este término antigravitatorio, ahora conocido como “energía oscura", es la energía del vacío absoluto. Puede separar galaxias o acercarlas de nuevo. Einstein escogió el valor de la constante cosmológica exactamente para que contrarrestara la contracción debida a la gravedad, de manera que el universo fuera estático. Estaba descontento con esto, y olía a chapuza matemática, pero era lo único que podía hacer para mantener la idea de un universo estático. (Pasarían más dé ochenta años antes de que se encontrara evidencia de la constante cosmológica, que ahora se considera la fuente de energía dominante del universo.)

Esta incógnita se hizo más profunda durante los siguientes años a medida que se descubrían nuevas soluciones de las ecuaciones de Einstein. En 1917, Willem de Sitter, un físico danés, vio que era posible encontrar una solución extraña a las ecuaciones de Einstein: ¡un universo completamente vacío de materia que se expandía! Todo lo que se necesitaba era la constante cosmológica, la emergía del vacío, para mover un universo en expansión. Esto era preocupante para Einstein, que creía, como Mach antes que él, que la naturaleza del espacio-tiempo debería estar determinada por el contenido de materia en el universo. Sin embargo, De Sitter había encontrado un universo expansivo sin ningún tipo de materia, que tan sólo necesitaba energía oscura para impulsarse hacia adelante.

Los radicales pasos finales los dieron Alexander Friedmann en 1922 y un capellán belga, Georges Lemaitre, en 1927. Mostraron que un universo expansivo es una consecuencia directa de las ecuaciones de Einstein. Friedmann obtuvo una solución de las ecuaciones de Einstein partiendo de un universo homogéneo e isótropo cuyo radio se expande o se contrae. (Desafortunadamente, Friedmann murió de fiebre tifoidea en 1925 en Leningrado antes de que pudiera elaborar sobre su solución.) En la visión de

Friedmann-Lemaitre, hay tres posibilidades dependiendo de la densidad del universo. Si la densidad del universo es mayor que un determinado valor crítico, entonces la expansión del universo se acabará invirtiendo por el efecto de la gravedad, y el universo comenzará a contraerse. (La densidad crítica es aproximadamente trece átomos de hidrógeno por metro cúbico). En este universo la curvatura global es positiva (por analogía, una esfera tiene curvatura positiva). Si la densidad del universo es menor que la densidad crítica, entonces no hay suficiente gravedad como para invertir el proceso de expansión del universo, de manera que se expande indefinidamente. (El universo se acerca al cero absoluto de temperatura a medida que se expande hacia lo que se conoce como la "gran congelación".) En este universo, la curvatura global es negativa (por analogía, una silla de montar o el cuerno de una trompeta tienen curvatura negativa). En último lugar, hay la posibilidad de que el universo tenga exactamente la densidad crítica (en cuyo caso también seguirá expandiéndose indefinidamente). En este universo la curvatura es nula, de manera que es plano. Por lo tanto, su destino se puede determinar, en principio, tan sólo midiendo su densidad media.

Los avances en esta dirección eran preocupantes, ya que ahora había por lo menos tres modelos cosmológicos que describían cómo debería evolucionar el universo (el de Einstein, el de De Sitter y el de Friedmann-Lemaitre). La discusión permaneció activa hasta 1929, cuando el astrónomo Edwin Hubble obtuvo unos resultados que sacudirían los cimientos de la astronomía. En primer lugar aniquiló la teoría del universo con una sola galaxia demostrando la presencia de galaxias más allá de la Vía Láctea. (El universo, en vez de ser un simple grupo de cien mil millones de estrellas en una sola galaxia, ahora contenía billones de galaxias, cada una con miles de millones de estrellas. En tan sólo un año, el universo creció espectacularmente.) Descubrió que potencialmente había billones de galaxias además de la nuestra, y la más cercana era Andrómeda, aproximadamente a dos millones de años luz de la Tierra. (La palabra "galaxia", de hecho, viene de la palabra griega para "leche", dado que los antiguos griegos creían que la Vía Láctea era leche derramada por los dioses por el cielo nocturno.)

Sólo esta observación podría haber garantizado a Hubble un lugar entre los gigantes de la astronomía. Pero Hubble fue más allá. En 1928 hizo un viaje trascendental a Holanda, donde se reunió con De Sitter, que afirmaba que la relatividad de Einstein predecía un universo en expansión con una relación de proporcionalidad entre el corrimiento al rojo y la distancia. Cuanto más lejana estuviera una galaxia de la Tierra, más rápidamente se alejaría de nosotros. (Este corrimiento al rojo es ligeramente diferente del corrimiento al rojo gravitatorio considerado por Einstein en 1915. En un universo expansivo, las galaxias se alejan de nosotros y causan este corrimiento al rojo de su espectro. De manera similar, si una estrella amarilla se aleja de nosotros, la velocidad del rayo de luz permanece constante pero su longitud de onda se "extiende", de manera que el color de la estrella amarilla se enrojece. De manera similar, si una estrella amarilla se acerca a la Tierra, su longitud de onda se encoge, comprimida como un acordeón, y su color se vuelve azulado.)

Cuando Hubble volvió al observatorio del Monte Wilson, comenzó un estudio sistemático de los corrimientos al rojo de las galaxias que había encontrado para ver si la correlación era cierta. Sabía que en 1912, Vesto Melvin Slipher había demostrado que algunas nebulosas lejanas se alejaban de la Tierra, creando un corrimiento al rojo de su espectro. Hubble calculó sistemáticamente el corrimiento al rojo del espectro de galaxias lejanas y descubrió que estas galaxias se alejaban de la Tierra, es decir, que el universo se expandía a un ritmo fantástico. Entonces descubrió que sus datos confirmaban la conjetura hecha por De Sitter, que ahora se conoce como la "ley de Hubble": la velocidad a la que se aleja una galaxia es directamente proporcional a su distancia (y viceversa).

Dibujando sus observaciones sobre un gráfico con dos ejes que representaban la distancia y la velocidad, Hubble encontró una línea casi recta, como predecía la relatividad general, cuya pendiente se conoce como la “constante de Hubble”. Hubble, a su vez, tenía curiosidad sobre cómo se ajustarían sus resultados a los de Einstein.

(Desgraciadamente, el modelo de Einstein tenía materia pero no movimiento, y el universo de De Sitter tenía movimiento pero no materia. Sus resultados parecían concordar con el trabajo de Friedmann y Lemaitre, que poseía tanto materia como movimiento.) En 1930 Einstein hizo el peregrinaje al observatorio del Monte Wilson, donde conoció a Hubble. (Cuando los astrónomos se enorgullecían de que su gigantesco telescopio de 100 pulgadas, el mayor del mundo en esa época, podía determinar la estructura del universo, Elsa no se impresionó. “Mi marido hace eso sobre el reverso de un sobre viejo”, dijo.) A medida que Hubble exponía los resultados que había obtenido laboriosamente a partir del estudio de multitud de galaxias, todas alejándose de la Vía Láctea, Einstein se dio cuenta y admitió que su constante cosmológica era el mayor error de su vida. Ahora se podía prescindir de la constante cosmológica, introducida por Einstein para crear artificialmente un universo estático. El universo se expandía, tal y como había descubierto una década antes.

Además, las ecuaciones de Einstein daban la derivación más sencilla de la ley de Hubble. Supongamos que el universo es un globo que se expande, con las galaxias representadas por pequeños puntos dibujados sobre el globo. A una hormiga situada en uno de estos puntos le parece que todos los demás puntos se alejan de ella. De manera similar, cuanto más lejos esté un punto de la hormiga, más rápido se moverá, como en la ley de.Hubble. Por tanto, las ecuaciones de Einstein daban información sobre antiguas preguntas como, ¿existe un límite del universo? Si el universo se acaba con una pared, nos podemos preguntar, ¿qué hay detrás de esa pared? Cristóbal Colón podría haber respondido esta pregunta considerando la forma de la Tierra. En tres dimensiones, la Tierra es finita (siendo tan sólo una esfera flotando en el espacio), pero en dos dimensiones parece infinita (si uno viaja dando vueltas a su circunferencia), de manera que alguien andando sobre la superficie de la Tierra jamás encontrará un final. La Tierra, pues, es al mismo tiempo finita e infinita, dependiendo del número de dimensiones que utilicemos para medirla. De manera similar, podríamos afirmar que el universo es infinito en tres dimensiones. No hay ninguna pared de ladrillos que marque el fin del universo;

un cohete lanzado hacia el espacio jamás chocará contra una pared cósmica. Sin embargo, existe la posibilidad de que el universo sea finito en cuatro dimensiones. (Si fuera una esfera de cuatro dimensiones, o hiperesfera, se podría viajar completamente alrededor del universo y volver donde se empezó. En este universo, el objeto más lejano que puedes observar es tu propia nuca.)

Si el universo se expande a un ritmo determinado, se puede invertir esta expansión y calcular aproximadamente cuándo se inició la expansión. En otras palabras, el universo no sólo tuvo un inicio, sino que también podemos calcular su edad. (En el año 2003, datos provenientes de satélites demostraron que el universo tiene 13,7 miles de millones de años.) En 1931, Lemaitre postuló un origen específico del universo, un génesis de altísimas temperaturas. Si uno lleva las ecuaciones de Einstein a su conclusión lógica, éstas mostraban que el universo tenía un origen cataclismico.

En 1949 el cosmólogo Fred Hoyle bautizó todos estos resultados como la teoría del “Big Bang” durante una discusión en la BBC. Dado que Hoyle defendía una teoría rival, se inició la leyenda de que había forjado el nombre de “Big Bang” a modo de insulto (a pesar de que él mismo lo negó más tarde). Sin embargo, se debe clarificar que el nombre es una denominación errónea. Ni fue grande, ni hubo ninguna explosión. El universo se inició como una “singularidad” infinitesimalmente pequeña. Y no hubo ningún tipo de explosión en el sentido convencional de la palabra, dado que fue la expansión del propio espacio lo que apartaba las estrellas entre sí.

La teoría de la relatividad general de Einstein no sólo introdujo conceptos completamente inesperados como la expansión del universo y el Big Bang, sino también otro concepto que ha intrigado a los astrónomos desde entonces: los agujeros negros. En 1916, tan sólo unos años después de que publicara su teoría de la relatividad, Einstein quedó impresionado al recibir la noticia de que un físico, Karl Schwarzschild, había resuelto sus ecuaciones para el caso de una única estrella puntual. Anteriormente,

Einstein sólo había utilizado aproximaciones de las ecuaciones de la relatividad a causa de su complejidad. Schwarzschild deleitó a Einstein con una solución exacta, sin ningún tipo de aproximación. A pesar de que Schwarzschild era director del Observatorio Astrofísico de Postdam, se alistó voluntariamente al ejército alemán para servir en el frente ruso. Sorprendentemente, consiguió seguir trabajando en física mientras esquivaba las bombas que explotaban a su alrededor. No sólo calculaba las trayectorias de los proyectiles de artillería del ejército alemán, también calculó la solución más exacta y sutil de las ecuaciones de Einstein. Hoy esta solución se conoce como la "solución de Schwarzschild". (Desgraciadamente, no vivió para disfrutar la fama que su solución le había proporcionado. Siendo una de las estrellas más brillantes del emergente campo de la relatividad, Schwarzschild murió a los cuarenta y dos años, tan sólo unos meses después de que se publicaran sus resultados, de una extraña enfermedad de la piel que había contraído en el frente de Rusia. Einstein escribió una conmovedora elegía para Schwarzschild, cuya muerte tan sólo reforzaría el odio de Einstein hacia la guerra.)

La solución de Schwarzschild, que causó sensación en círculos científicos, también tenía consecuencias extrañas. Schwarzschild descubrió que cerca de esta estrella puntual, la gravedad era tan fuerte que ni tan sólo la luz podía escapar, de manera que la estrella se volvía invisible. Este era un problema complicado que no sólo se encontraba en la teoría de la gravedad de Einstein, sino también en la teoría newtoniana. En 1783, John Michell, rector de Thornhill en Inglaterra, planteó la pregunta de si era posible que una estrella fuera tan grande que ni tan sólo la luz pudiera escapar. Sus cálculos, utilizando leyes newtonianas, no eran fiables porque nadie sabía exactamente cuál era la velocidad de la luz, pero sus conclusiones eran difíciles de descartar. En principio, una estrella se podía volver tan grande que su luz orbitaria a su alrededor. Trece años más tarde, en su famoso libro *Exposition du systeme du monde*, el matemático Pierre-Simon Laplace también se preguntaba si estas “estrellas oscuras” eran posibles (pero probablemente consideró la especulación tan extravagante que la suprimió de la tercera edición). Siglos más tarde, la cuestión de las estrellas oscuras

volvió a ser considerada gracias a Schwarzschild, quien descubrió que hay un "círculo mágico" alrededor de la estrella, ahora conocido como el "horizonte de sucesor", en el cual suceden extraordinarias distorsiones del espacio-tiempo. Schwarzschild demostró que si alguien era tan desgraciado como para caer más allá de este horizonte de sucesos, jamás volvería. (Deberías moverte más rápido que la velocidad de la luz para escapar, lo cual es imposible.) De hecho, desde dentro del horizonte de sucesos, nada puede escapar, ni tan sólo un rayo de luz. La luz emitida desde esta estrella puntual orbitaria siempre alrededor de la estrella. Desde el exterior, la estrella parecería escondida en la oscuridad.

Se puede usar la solución de Schwarzschild para calcular cuánta materia es necesario comprimir para alcanzar este círculo mágico llamado el "radio de Schwarzschild", momento en el que la estrella colapsaría completamente. Para el Sol, el radio de Schwarzschild es de tres kilómetros. Para la Tierra es menos de un centímetro. (Dado que este factor de compresión estaba fuera del alcance de la física en la primera década del siglo, los físicos suponían que no podía existir tal objeto.') Sin embargo, a medida que Einstein profundizaba en el estudio de estos objetos, más tarde bautizados como "agujeros negros" por el físico John Wheeler, se volvían cada vez más extraños. Por ejemplo, si cayeras dentro de un agujero negro, tan sólo tardarías una fracción de segundo en atravesar el horizonte de sucesos. Mientras (brevemente) lo atraviesas, verías la luz que había sido capturada tal vez hace miles de millones de años orbitando el agujero negro. El último milisegundo no sería demasiado agradable. Las fuerzas gravitatorias serían tan grandes que se aplastarían los átomos de tu cuerpo. La muerte sería inevitable y horrible. Pero los observadores que vieran esta muerte cósmica desde una distancia segura tendrían una visión completamente diferente. La luz emitida por tu cuerpo sería dilatada por la gravedad, de manera que parecerías congelado en el tiempo. Para el resto del universo, todavía estarías flotando sobre el agujero negro, inmóvil.

Estas estrellas, de hecho, eran tan fantásticas que la mayoría de los físicos creían que jamás se encontrarían en el universo. Eddington, por ejemplo, dijo: "Debería haber una ley de la Naturaleza que evitara que una estrella se comportara de forma tan absurda". En 1939 Einstein intentó demostrar matemáticamente que dicho agujero negro era imposible. Comenzó estudiando una estrella durante su formación, es decir, un grupo de partículas dando vueltas en el espacio, que gradualmente se acercan por la fuerza gravitacional. Los cálculos de Einstein demostraban que este grupo colapsaría gradualmente, pero sólo se comprimiría hasta 1,5 veces el radio de Schwarzschild, de manera que un agujero negro no se podría formar.

A pesar de que sus cálculos parecían perfectos, lo que se le escapó a Einstein fue la posibilidad de la implosión de la propia materia, creada por el rompedor efecto de la fuerza gravitatoria sobrepasando todas las fuerzas nucleares de la materia. Este cálculo más detallado fue publicado por J. Robert Oppenheimer y su estudiante Hardand Snyder en 1939. En lugar de considerar un grupo de partículas dando vueltas en el espacio, consideraron una estrella estática, tan grande que su enorme gravedad pudiera vencer las fuerzas cuánticas del interior de los átomos de la estrella. Por ejemplo, una estrella de neutrones está formada por una enorme bola de neutrones aproximadamente del tamaño de Manhattan (10 kilómetros de diámetro) creando un núcleo gigante. Lo que evita que esta estrella colapse es la fuerza de Fermi, que evita que más de una partícula con ciertos números cuánticos (es decir, *spin)* estén en el mismo estado. Si la fuerza gravitacional es suficientemente grande, puede sobreponerse a la fuerza de Fermi y así comprimir la estrella más allá del radio de Schwarzschild, punto a partir del cual nada conocido por la ciencia puede evitar el colapso total. Sin embargo, pasarían más de tres décadas antes de que se descubrieran las primeras estrellas de neutrones y agujeros negros, así que la mayoría de las publicaciones relacionadas con las increíbles propiedades de los agujeros negros se consideraban pura especulación.

A pesar de que Einstein todavía era escéptico respecto a los agujeros negros,

estaba seguro de que otra de sus predicciones se volvería realidad: el descubrimiento de las ondas gravitacionales. Como hemos visto, uno de los grandes triunfos de las ecuaciones de Maxwell fue la predicción de que campos magnéticos y eléctricos vibrando al unísono crearían una onda que podría ser observada. De manera similar, Einstein ponderó la posibilidad de que sus ecuaciones permitieran ondas gravitacionales. En un mundo newtoniano, las ondas de gravedad no pueden existir, ya que la "fuerza" de la gravedad actúa instantáneamente por todo el universo, afectando todos los objetos de manera simultánea. Pero en la relatividad general, en cierto modo, las ondas gravitacionales deben existir, dado que las vibraciones del campo gravitatorio no pueden sobrepasar la velocidad de la luz. Por tanto, un suceso cataclísmico, como la colisión de dos agujeros negros, liberaría una onda de choque de gravedad, una onda gravitacional, que viajaría a la velocidad de la luz.

Ya en 1916, Einstein fue capaz de demostrar con aproximaciones apropiadas que sus ecuaciones producían movimientos ondulatorios de la gravedad. Estas ondas se propagan a través del tejido del espacio-tiempo a la velocidad de la luz, como se esperaba. En 1937, junto a su alumno Nathan Rosen, fue capaz de encontrar una solución exacta de las ecuaciones sin ningún tipo de aproximación que producía ondas gravitacionales. Dichas ondas eran ahora una firme predicción dé la relatividad general. Einstein se lamentaba, sin embargo, de que jamás podría verlo. Los cálculos demostraban que las ondas estaban mucho más allá de la capacidad experimental de los científicos de la época. (Pasarían más de ochenta años desde que Einstein descubrió las ondas gravitacionales en sus ecuaciones, hasta que un Premio Nobel fuera otorgado a los físicos que obtuvieron evidencia indirecta de las ondas. Las primeras ondas gravitacionales pudieron ser detectadas directamente tal vez noventa años más tarde de esa primera predicción. Estas ondas gravitacionales, a su vez, pueden convertirse en una manera de indagar en el mismísimo Big Bang y encontrar la teoría unificada de campos.)

En 1936 un ingeniero checo, Rudi Mandl, propuso a Einstein una nueva idea relacionada con las extrañas propiedades del espacio y el tiempo, preguntando si era posible utilizar una estrella cercana como lente para magnificar la luz de estrellas más distantes, en el mismo sentido que las lentes de las gafas se pueden utilizar para magnificar la luz. Einstein había considerado esta posibilidad en 1912, pero, incitado por Mandl, calculó que la lente crearía un diseño similar a un anillo para el observador en la Tierra. Por ejemplo, consideremos la luz de una galaxia distante pasando a través de una galaxia cercana, la gravedad de la galaxia cercana podría dividir la luz en dos, con cada mitad yendo alrededor de la galaxia en direcciones opuestas. Cuando los rayos de luz pasaran la galaxia cercana completamente, se reunirían. Desde la Tierra, se verían estos rayos de luz como un anillo de luz, una ilusión óptica creada por la curvatura de la luz alrededor de la galaxia cercana. Sin embargo, Einstein concluyó que “no hay muchas esperanzas de poder observar este fenómeno directamente”. De hecho, escribió que este trabajo era “de poco valor, pero hace feliz al pobre hombre [Mandl]”. De nuevo, Einstein estaba tan por delante de su tiempo que pasarían más de sesenta años antes de que los anillos y lentes de Einstein se encontraran y con el tiempo se convirtieran en herramientas indispensables de la astronomía en su exploración del universo.

A pesar de que la relatividad general obtuviera tanto éxito y abarcase un espectro tan amplio no preparó a Einstein a mediados de los años veinte para la gran lucha de su vida: encontrar una teoría unificada de campos que uniera las leyes de la física y que a la vez fuera capaz de luchar contra el “demonio” de la teoría cuántica.

TERCERA PARTE LA IMAGEN INACABADA: LA TEORÍA UNIFICADA DE CAMPOS

LA UNIFICACIÓN Y EL DESAFÍO CUÁNTICO

En 1905, tan pronto como Einstein dedujo la teoría de la relatividad especial, comenzó a perder interés por ella y se concentró en un objetivo mayor: la relatividad general. En 1915, se volvió a repetir el proceso. Tan pronto como terminó de formular su teoría de la gravedad, comenzó a concentrarse en un proyecto mucho más ambicioso: la teoría unificada de campos, que unificaría su teoría de la gravedad con la teoría electromagnética de Maxwell. Debía ser su obra maestra, así como la suma de dos mil años de investigación sobre la naturaleza de la gravedad y la luz. Le permitiría “leer los pensamientos de Dios”.

Einstein no fue el primero en sugerir una relación entre la gravedad y el electromagnetismo. En el siglo XIX, Michael Faraday, mientras trabajaba en la Royal Institution de Londres, llevó a cabo uno de los primeros experimentos para indagar en la relación entre estas dos fuerzas. Lanzaba imanes desde el London Bridge para ver si su ritmo de descenso era diferente del de las rocas comunes. Si el magnetismo interactuaba con la gravedad, tal vez el campo magnético podría actuar como un lastre para la gravedad, haciendo que los imanes cayeran a diferente velocidad. También soltaba piezas metálicas desde el techo de un aula hasta una almohada en el suelo, intentado descubrir si el descenso podía inducir una corriente eléctrica en el metal. A pesar de que todos sus experimentos tuvieron resultados negativos, Faraday sostuvo que, “No debilitan la fuerte sensación que tengo sobre la existencia de una relación entre la gravedad y la electricidad, a pesar de que no dan ninguna prueba de que dicha relación exista”. Riemann, que había desarrollado la teoría del espacio curvado en cualquier dimensión, creía firmemente que tanto la gravedad como el magnetismo podían reducirse a expresiones puramente geométricas. Desgraciadamente, no tenía ninguna visión física ni ecuaciones de campos, así que su idea no llegó a ninguna parte.

Einstein resumió su actitud hacia la unificación comparando la madera y el mármol. El mármol, creía Einstein, describía el bello mundo de la geometría, donde las superficies se curvan de manera suave y continua. El universo de estrellas y galaxias participa en un juego cósmico sobre el bello mármol del espacio-tiempo. La madera, en cambio, representa el caótico mundo de la materia, con su jungla de partículas subatómicas, sus normas cuánticas sin sentido. Esta madera, como las nudosas viñas, crece de manera impredecible y aleatoria. Nuevas partículas descubiertas en el átomo hacían que la teoría de la materia fuera bastante fea. Einstein vio el defecto en sus ecuaciones. El error fatal era que la madera determinaba la estructura del mármol. La cantidad de curvatura del espacio-tiempo estaba determinada por la cantidad de materia.

Para Einstein, pues, la estrategia era clara: *crear una teoría depuro mármol,* para eliminar la madera reformulándola exclusivamente en función del mármol. Si se pudiera demostrar que la madera está hecha de mármol tendría una teoría puramente geométrica. Por ejemplo, una partícula puntual es infinitesimalmente pequeña, dado que no tiene extensión en el espacio. En la teoría de campos, una partícula puntual está representada por una "singularidad", un punto donde la intensidad del campo tiende a infinito. Einstein quería sustituir esta singularidad por una deformación suave del espacio-tiempo. Imaginemos, por ejemplo, un nudo en una cuerda. Desde la distancia, el nudo puede parecer una partícula, pero cuando nos acercamos vemos que tan sólo es una deformación de la cuerda. De manera similar, Einstein quería crear una teoría que fuese puramente geométrica y no tuviera ninguna singularidad. Las partículas subatómicas, como el electrón, aparecerían como ondulaciones o algún tipo de pequeña arruga en la superficie del espacio-tiempo. El problema fundamental, sin embargó, era que le faltaba una simetría concreta y un principio que unificara el electromagnetismo y la gravedad. Como vimos antes, la clave del razonamiento de Einstein era la unificación mediante la simetría. Con la relatividad especial, tenía la visión que le guió constantemente, correr junto a un rayo de luz. Luego fue capaz de formular la simetría que unificaba el espacio y el tiempo: las transformaciones de Lorentz.

De manera similar, al trabajar sobre la relatividad general tenía una imagen: la gravedad estaba causada por la distorsión del espacio y el tiempo. Esta imagen exponía las contradicciones fundamentales entre la gravedad de Newton (donde la gravedad viaja instantáneamente) y la relatividad (donde nada puede trasladarse más rápido que la luz). Extrajo un principio de la imagen, el principio de equivalencia: los sistemas de referencia acelerados y los sometidos a gravitación obedecen las mismas leyes de la física. Por último, fue capaz de formular una simetría general que describía las aceleraciones y la gravedad: la covariancia general.

El problema al que ahora se enfrentaba Einstein era realmente terrible, ya que iba por lo menos cincuenta años por delante de su época. En los años veinte, cuando comenzó a trabajar sobre la teoría unificada de campos, las únicas fuerzas conocidas eran la gravitatoria y la electromagnética. El núcleo del átomo había sido descubierto por Ernest Rutherford en 1911, y la fuerza que lo mantenía unido todavía estaba rodeada de misterios. Sin una comprensión clara de las fuerzas nucleares, a Einstein le faltaba una parte crucial del rompecabezas. Además, ningún experimento había puesto de relieve ninguna contradicción entre la gravedad y el electromagnetismo, algo que podría constituir el clavo ardiente al que agarrarse.

Hermann Weyl, un matemático inspirado por la búsqueda de Einstein de la teoría unificada de campos, hizo el primer intento serio en 1918. Al principio, Einstein estaba impresionado: “Es una sinfonía impresionante”, escribió. Weyl expandió la antigua teoría de la gravedad de Einstein introduciendo el campo de Maxwell directamente en las ecuaciones. Entonces exigió que las ecuaciones fueran covariantes bajo todavía más transformaciones que las que Einstein había impuesto, incluyendo las transformaciones de escala (es decir, transformaciones que contraen o expanden todas las distancias por igual). No obstante, Einstein rápidamente encontró algunas extrañas anomalías en la teoría. Por ejemplo, si viajaras en círculo y volvieras al mismo punto, encontrarías que ahora eres más bajo pero tienes la misma forma. En otras palabras, las distancias no se

mantenían. (En la teoría de Einstein, las longitudes también cambian, pero se mantienen iguales si vuelves al punto de donde partiste.) El tiempo también se desplazaría en un camino cerrado, pero esto violaría nuestro entendimiento del mundo físico. Por ejemplo, átomos en vibración que se movieran a lo largo de un círculo completo vibrarían con frecuencias diferentes cuando volvieran al origen. A pesar de que la teoría de Weyl parecía ingeniosa, tuvo que ser abandonada porque no concordaba con los datos experimentales. (Retrospectivamente, podemos ver que la teoría de Weyl tenía demasiada simetría. La simetría de escala es, aparentemente, una simetría que la naturaleza no utiliza para describir el universo visible.)

En 1923 a Arthur Eddington también le picó la curiosidad. Inspirado por el trabajo de Weyl, Eddington (y muchos otros antes que él) probó suerte con la teoría unificada de campos. Como Einstein, creó una teoría basada en la curvatura de Ricci, pero el concepto de distancia no aparecía en sus ecuaciones. En otras palabras, era imposible definir los metros o los segundos en su teoría; la teoría era “pre geométrica”. Tan sólo en el último paso aparecía la distancia como consecuencia de sus ecuaciones. Se esperaba que el electromagnetismo surgiera como una parte de la curvatura de Ricci. Al físico Wolfgang Pauli no le gustó en absoluto esta teoría, de la que dijo que no tenía “ninguna relevancia para la física”. Einstein también la descartó, pensando que no tenía contenido físico.

Pero lo que realmente impresionó a Einstein hasta la médula fue una artículo que leyó en 1921, escrito por un matemático desconocido, Theodr Kaluza, de la Universidad de Königsberg, Kaluza sugirió que Einstein, que había profundizado en el concepto de la cuarta dimensión, añadiera todavía una dimensión más. Kaluza empezaba reformulando las propias ecuaciones de Einstein en cinco dimensiones (cuatro dimensiones de espacio y una de tiempo). Esto no tiene complicación alguna, ya que las ecuaciones de Einstein pueden ser fácilmente formuladas en cualquier número

de dimensiones. Kaluza demostraba en pocas líneas que si se separaba la quinta dimensión de las otras cuatro, aparecían las ecuaciones de Einstein, ¡Junto a las de Maxwell! En otras palabras, las ecuaciones de Maxwell, el terrible grupo de ocho ecuaciones en diferenciales parciales de obligada memorización para todo ingeniero y físico, se podían reducir a ondas viajando sobre la quinta dimensión. La teoría de Maxwell estaba escondida detrás de la teoría de Einstein si la relatividad se extendía a cinco dimensiones.

A Einstein le sorprendió la audacia y belleza del trabajo de Kaluza: "La idea de conseguir [la unificación] a través de un mundo cilíndrico de cinco dimensiones no se me había ocurrido nunca... A primera vista, me gustó enormemente su idea", le escribió. Unas semanas más tarde, tras estudiar la teoría, volvió a escribirle: "La unidad formal de su teoría es impresionante". En 1926, el matemático Oskar Klein generalizó el trabajo de Kaluza y especuló que la quinta dimensión era inobservable porque era pequeña y probablemente relacionada con la teoría cuántica. Kaluza y Klein, por tanto, proponían un camino completamente diferente para llegar a la unificación. Para ellos el electromagnetismo no era más que vibraciones expandiéndose por la superficie de una diminuta quinta dimensión.

Por ejemplo, si imaginamos a los peces que viven en un estanque, nadando justo debajo de los nenúfares, éstos pueden pensar que su universo tiene dos dimensiones. Pueden moverse hacia adelante y hacia atrás, a izquierda y derecha, pero el concepto de "arriba" hacia el mundo tridimensional es ajeno a ellos. Si su universo fuese bidimensional, ¿cómo podrían ser conscientes de la misteriosa tercera dimensión? imaginemos que un día llueve. Pequeñas ondulaciones en la tercera dimensión se mueven por la superficie del estanque, y los peces las ven claramente. A medida que estas ondulaciones se muevan por la superficie, los peces podrían deducir que existe una misteriosa fuerza que podría iluminar su universo. De manera similar, en esta imagen, nosotros somos los peces, llevamos a cabo nuestros asuntos en tres

dimensiones espaciales, inconscientes de que podría haber dimensiones mayores un poco más allá de nuestros sentidos. El único contacto directo que podríamos tener con la invisible quinta dimensión es la luz, ahora vista como ondulaciones viajando a lo largo de la quinta dimensión.

Había una razón para que la teoría Kaluza-Klein funcionara tan bien. Recodemos que la *unificación a través de la simetría* era una de las grandes estrategias de Einstein para llegar a la relatividad. En la teoría Kaluza-Klein, el electromagnetismo y la gravedad se unían gracias a una nueva simetría, la covariancia general en cinco dimensiones. A pesar de que esta imagen, la unión de la gravedad y el electromagnetismo a través de una quinta dimensión, era muy sugerente, todavía quedaba una gran duda: ¿dónde estaba esta quinta dimensión? Ningún experimento ha encontrado jamás, hasta el día de hoy, ninguna evidencia de la existencia de una dimensión superior más allá de la longitud, anchura y altura. Si estas dimensiones superiores existen, deben ser extremadamente pequeñas, mucho más pequeñas que el átomo. Por ejemplo, sabemos que si soltamos gas cloro en una habitación, sus átomos desaparecerán lentamente por todas las rendijas de la habitación sin necesidad de desaparecer en una misteriosa dimensión superior. Sabemos, pues, que cualquier dimensión escondida debe ser menor que cualquier átomo. Esta nueva teoría, si se impone que la quinta dimensión es menor que un átomo de hidrógeno, concuerda con todos los resultados experimentales, que jamás han detectado la presencia de la quinta dimensión. Kaluza y Klein supusieron que la quinta dimensión estaba “enrollada sobre sí misma” en una pequeña bola, demasiado pequeña para ser observada.

A pesar de que la teoría Kaluza-Klein era una aproximación sugerente y novedosa a la unificación del electromagnetismo y la gravedad, con el tiempo Einstein tuvo dudas. La idea de que la quinta dimensión podría no existir, que podría ser una ficción matemática o un espejismo, le inquietaba. Además, tuvo problemas para encontrar las partículas subatómicas a través de la teoría Kaluza-Klein. Su objetivo era

derivar el electrón de sus ecuaciones de campos gravitatorios y, por mucho que lo intentaba, no lo conseguía. (En retrospectiva, ésta fue una gran oportunidad perdida para la física. Si los físicos se hubieran tomado la teoría Kaluza-Klein más en serio, podrían haber añadido dimensiones más allá de la quinta. A medida que aumentamos el número de dimensiones, el campo de Maxwell aumenta en número y se convierte en lo que se conoce como los "campos de Yang-Mills". De hecho, Klein descubrió los campos de Yang-Mills, pero su trabajo se olvidó en el caos de la Segunda Guerra Mundial. Pasarían casi dos décadas antes de que se volvieran a descubrir, a mediados de los años cincuenta. Estos campos de Yang-Mills forman los cimientos de la actual teoría de la fuerza nuclear. Casi toda la física subatómica se formula en función de ellos. Veinte años más tarde, la teoría Kaluza-Klein resucitaría en la forma de una nueva teoría, la teoría de las cuerdas, que ahora es considerada el candidato principal para la teoría unificada de campos.)

Si la teoría Kaluza-Klein había fallado, Einstein debía explorar un camino diferente hacia la teoría unificada de campos. Su elección fue investigar nuevas geometrías más allá de la geometría de Riemann. Consultó a muchos matemáticos, y rápidamente se dio cuenta de que se trataba de un campo completamente abierto. De hecho, bajo la presión de Einstein, muchos matemáticos comenzaron a indagar en las geometrías "pos-Riemann", o en la "teoría de las conexiones", para ayudarle a explorar nuevos universos posibles. Como consecuencia se desarrollaron nuevas geometrías relacionadas con la "torsión" y espacios "enroscados". (Estos espacios abstractos no tendrían ninguna aplicación física hasta setenta años después con la llegada de la teoría de las supercuerdas.)

Sin embargo, trabajar sobre las geometrías pos-Riemann era una pesadilla. Einstein no tenía ningún principio físico que le ayudara a avanzar por la espesura de las ecuaciones abstractas. Anteriormente había utilizado el principio de equivalencia y la covariancia general como brújulas. Ambos se basaban en datos experimentales.

También había confiado en imágenes físicas para vislumbrar el camino a seguir. Con la teoría unificada, sin embargo, no tenía ningún principio o imagen física que le guiara.

La curiosidad del mundo hacia el trabajo de Einstein era tal que un informe sobre sus avances en la teoría unificada de campos que entregó a la Academia Prusiana de las Ciencias fue cubierto por el *New York Times*, que llegó a publicar algunos fragmentos. Pronto había centenares de periodistas revoloteando alrededor de su casa, esperando poder ver a Einstein. Eddington le escribió para informarle: "Te divertirá oír que uno de los mayores centros comerciales de Londres (Selfridges) ha colocado tu artículo en el escaparate (las seis páginas una al lado de la otra) de manera que los transeúntes puedan leerlo todo. Grandes multitudes se agolpan a su alrededor para leerlo". Einstein, sin embargo, habría cambiado toda la adulación y admiración del mundo por una sencilla imagen física que le guiara.

Gradualmente otros científicos comenzaron a insinuar que Einstein iba por el camino equivocado y que su intuición física le estaba fallando. Uno de los críticos era su amigo y colega Wolfgang Pauli, uno de los precursores de la teoría cuántica, que era famoso en círculos científicos por su perspicaz ingenio. Una vez dijo de un artículo equivocado sobre física: "Ni tan sólo está mal". A un colega cuyo artículo había evaluado le dijo: "No me importa si piensa con lentitud, pero me opongo a que publique más rápidamente de lo que piensa". Después de escuchar un seminario confuso e incoherente, diría: "Lo que acaba de decir es tan confuso que ni tan sólo se podría decidir si tiene sentido o no". Cuando otros físicos se empezaron a quejar de que Pauli era demasiado crítico, les respondió: "Hay gente que tiene callos muy sensibles, y la única manera de vivir con ellos es pisarlos hasta que se acostumbren". Expresó su impresión sobre la teoría unificada de campos con el famoso comentario de que Dios se había partido en dos y ningún hombre podría juntarlo de nuevo. (Irónicamente, más tarde a Pauli también le picaría la curiosidad y propondría su propia versión de la teoría unificada de campos.)

La visión de Pauli se podría haber visto reforzada por muchos de sus colegas, que estaban crecientemente absortos en la teoría cuántica, La otra gran teoría del siglo veinte. La teoría cuántica se mantiene como una de las teorías físicas más exitosas de todos los tiempos. Ha conseguido un éxito sin precedentes explicando el misterioso mundo del átomo, y haciéndolo ha desatado el poder de los láseres, la electrónica moderna, los ordenadores y la nanotecnología. No obstante, la teoría cuántica tiene cimientos de arena. En el mundo atómico, los electrones parecen encontrarse en dos lugares al mismo tiempo, saltar de órbita sin avisar y desaparecer en un mundo fantasmagórico entre la existencia y la no existencia. Como Einstein había señalado ya en 1912, “cuanto más éxito tiene la teoría cuántica, más absurda parece".

Algunas de las extrañas propiedades del mundo cuántico se hicieron patentes en 1924, cuando Einstein recibió una carta de un desconocido físico indio, Satyendra Nath Base, cuyos artículos sobre física estadística eran tan extraños que sistemáticamente eran rechazados al intentar publicarlos. Base proponía una extensión del trabajo temprano de Einstein sobre mecánica estadística, buscando un tratamiento mecánico completamente cuántico del gas, tratando los átomos como objetos cuánticos. Así como Einstein había extendido el trabajo de Planck en una teoría de la luz, Base insinuaba que uno podría extender el trabajo de Einstein en una teoría cuántica de los átomos de un gas. Einstein, conocedor del tema, descubrió que a pesar de que Base había cometido algunos errores, haciendo suposiciones que no eran válidas, su resultado parecía correcto. Einstein no estaba tan sólo intrigado por el artículo, sino que llegó a traducirlo al alemán y entregarlo para su publicación.

Luego extendió el trabajo de Base y escribió un artículo propio en el que aplicaba los resultados a materia extremadamente fría, acercándose a la temperatura del cero absoluto. Base y Einstein descubrieron un hecho curioso del mundo cuántico: todos los átomos son indistinguibles; es decir, no puedes etiquetar cada átomo, como Boltzmann y Maxwell habían pensado. Mientras que las rocas, los árboles y demás

materia común puede ser etiquetada, en el mundo cuántico todos los átomos de hidrógeno son idénticos en cualquier experimento; no hay átomos verdes ni azules ni amarillos. Einstein descubrió que si un grupo de átomos se ultracongelaba hasta el cero absoluto, donde el movimiento atómico casi cesa, los átomos alcanzarían su estado energético más bajo, creando un único "súper-átomo". Estos átomos se condensarían en el mismo estado cuántico, comportándose en esencia como un único átomo gigante. Estaba proponiendo un estado de la materia completamente nuevo, jamás antes visto en la Tierra. Sin embargo, antes de que los átomos alcanzaran su estado energético más bajo, la temperatura debería ser tremendamente baja, de lejos demasiado baja como para observarla experimentalmente, tal vez una millonésima de grado por encima del cero absoluto. (A estas temperaturas, los átomos vibran al unísono, y los sutiles efectos cuánticos tan sólo observados al nivel de átomos individuales ahora se distribuyen por todo el condensado. Como espectadores de un partido de fútbol que forman "olas humanas" que avanzan a través de las gradas a medida que se levantan y se sientan, los átomos de un "condensado Base-Einstein" actúan como si todo vibrara al unísono.) Einstein no esperaba poder observar esta condensación Base-Einstein en toda su vida, dado que la tecnología de los años veinte no permitía trabajar cerca del cero absoluto. (De hecho, Einstein estaba tan adelantado a su época que pasarían más de setenta años antes de que esta predicción pudiera ser comprobada.)

Además del condensado Base-Einstein, Einstein estaba interesado en ver si este principio de dualidad se podría aplicar también a la luz. En una conferencia de 1909, Einstein había demostrado que la luz tenía una naturaleza doble, que podía tener simultáneamente propiedades de onda y partícula. A pesar de que era una idea herética, fue confirmada ampliamente por los resultados experimentales. Inspirado por el programa de dualidad iniciado por Einstein, un joven estudiante graduado, el príncipe Louis de Broglie, especuló en 1923 que hasta la propia materia podría tener propiedades de partícula y de onda a la vez. Este era un concepto revolucionario, dado que existe un profundo prejuicio de que la materia está hecha de partículas. Estimulado por el trabajo

de Einstein sobre la dualidad, De Broglie pudo explicar algunos de los misterios del átomo introduciendo el concepto de las propiedades ondulatorias de la materia.

A Einstein le gustó la audacia de las "ondas de materia” de De Broglie y promovió su teoría. (De Broglie, con el tiempo, recibiría el Premio Nobel por esta idea germinadora.) Pero si la materia tenía propiedades ondulatorias, ¿cuál era la ecuación a que estas ondas obedecían? Los Así, Einstein, que fue el padre de la “antigua teoría cuántica" del fotón, se convirtió en el padrino de la “nueva teoría cuántica", basada en las ondas de Schrödinger. (Hoy en día, cuando los alumnos de química en el instituto tienen que memorizar los extraños “orbitales” de formas ovaladas alrededor del núcleo, con etiquetas físicos clásicos eran expertos en la formulación de las ecuaciones de las olas malinas y las ondas sonoras, por lo que no es sorprendente que un físico austríaco, Erwin Schrödinger, diera con la ecuación de estas ondas de materia. Mientras Schrödinger, conocido mujeriego, estaba con una de sus innumerables amantes en la Villa Herwig de Arosa durante las vacaciones de Navidad de 1925, consiguió concentrarse lo suficiente como para formular una ecuación que pronto sería una de las más famosas del mundo cuántico, la ecuación de ondas de Schrödinger. Walter Moore, su biógrafo, comenta que “como en el caso de la desconocida dama que inspiró los sonetos de Shakespeare, puede que la identidad de la dama de Arosa permanezca siempre en el misterio”. (Desgraciadamente, dado que Schrödinger tuvo tantas novias y amantes a lo largo de su vida, así como hijos ilegítimos, es imposible determinar exactamente quién fue la musa de esta histórica ecuación.) Durante los siguientes meses, en una notable serie de artículos, Schrödinger demostró que las misteriosas normas descubiertas por Niels Bohr para el átomo de hidrógeno no eran más que sencillas consecuencias de su ecuación. Por primera vez los físicos tenían una imagen detallada del interior del átomo, a través de la cual uno podía, en principio, calcular las propiedades de átomos más complejos, e incluso de moléculas. En meses la nueva teoría cuántica se convirtió en una locomotora, resolviendo a su paso la mayoría de los rompecabezas del mundo atómico, resolviendo los mayores misterios a los que se

habían enfrentado los científicos desde el tiempo de los griegos. El baile de electrones en su movimiento entre órbitas, liberando pulsos de luz o manteniendo moléculas unidas, se volvió de repente calculable; una simple cuestión de resolver ecuaciones en derivadas parciales sin ninguna dificultad especial. Un joven y descarado físico cuántico, Paul Adrián Maurice Dirac, fanfarroneaba diciendo que toda la química se podía explicar cómo soluciones de la ecuación de Schrödinger, reduciendo la química a física aplicada.

Así, Einstein, que fue el padre de la “antigua teoría cuántica" del fotón, se convirtió en el padrino de la “nueva teoría cuántica", basada en las ondas de Schrödinger. (Hoy en día, cuando los alumnos de química en el instituto tienen que memorizar los extraños “orbitales” de formas ovaladas alrededor del núcleo, con etiquetas raras y "números cuánticos”, de hecho están memorizando las soluciones de la ecuación de ondas de Schrödinger.) Los avances en el campo de la física cuántica se aceleraron en gran medida. Dándose cuenta de que la ecuación de Schrödinger no incluía la relatividad, tan sólo dos años más tarde Dirac generalizó la ecuación de Schrödinger convirtiéndola en una teoría completamente relativista de los electrones, y de nuevo el mundo de la física quedó perplejo. Mientras que la famosa ecuación de Schrödinger no era relativista y tan sólo aplicable a electrones moviéndose a baja velocidad comparada con la de la luz, los electrones de Dirac obedecían la simetría de Einstein. Yendo más allá, la ecuación de Dirac podía explicar automáticamente algunas complicadas propiedades del electrón, incluyendo una llamada “spin”, Se sabía, gracias a experimentos llevados a cabo anteriormente por Otto Stern y Walter Gerlach, que el electrón actuaba como una peonza girando en un campo magnético, con un momento angular de 1/2 (en unidades de la constante de Planck). El electrón de Dirac tenía exactamente el spin 1/2 obtenido por el experimento Stern-Gerlach. (El campo de Maxwell, que representa al fotón, tiene spin 1, y las ondas gravitacionales de Einstein tienen spin 2. Con el trabajo de Dirac se hizo patente que el spin de una partícula subatómica sería una de sus propiedades más importantes.)

Entonces Dirac dio un paso más allá. Observando la energía de estos electrones, descubrió que Einstein había pasado por alto una solución de sus propias ecuaciones. Cuando se utiliza la raíz cuadrada de un número, se introducen soluciones tanto positivas como negativas. Por ejemplo, las raíz cuadrada de 4 puede ser más 2 o menos 2. Dado que Einstein había ignorado una raíz cuadrada de sus ecuaciones, su famosa ecuación $E = mc^2$ no era del todo correcta. La ecuación correcta era $E = Ø\ mc^2$. Este signo menos añadido, argumentaba Dirac, hacía posible un nuevo tipo de universo espejo, en el que las partículas podrían existir en forma de “antimateria”. (Extrañamente, tan sólo unos años antes, en 1925, el mismo Einstein había considerado la idea de la antimateria cuando demostró que cambiando el signo de la carga del electrón en una ecuación relativista, se pueden obtener soluciones idénticas a las que se obtienen si se cambia la orientación del espacio. Demostró que para cada partícula de una masa determinada, debe existir otra partícula con carga opuesta pero idéntica masa. La teoría de la relatividad no sólo nos aportó la cuarta dimensión, sino también un mundo paralelo de antimateria. Sin embargo, Einstein, siempre reacio a pelearse por cuestiones de reconocimiento, nunca se enfrentó a Dirac.)

Al principio, las radicales ideas de Dirac fueron recibidas con un escepticismo feroz. La idea de un universo entero de partículas, imagen proveniente de $E = Ø\ mc^2$ parecía una idea de otro planeta. El físico cuántico Werner Heisenberg (que junto a Niels Bohr había encontrado independientemente una formulación de la teoría cuántica equivalente a la de Schrödinger) escribió: “El capítulo más triste de la física moderna es la teoría de Dirac... Interpreto la teoría de Dirac... como escombros eruditos que nadie puede tomar en serio”. Sin embargo, los físicos se tuvieron que tragar su orgullo cuando el antielectrón, o positrón, fue finalmente descubierto en 1932, por lo que Dirac obtendría más tarde el Premio Nobel. Heisenberg finalmente admitió: “Creo que el descubrimiento de la antimateria fue tal vez el mayor de todos los grandes avances de nuestro siglo”. De nuevo la teoría de la relatividad proporcionaba riquezas inesperadas, esta vez dándonos un nuevo universo hecho de antimateria.

(Parece extraño que Schrödinger y Dirac, que desarrollaron las dos funciones de onda más importantes de la teoría cuántica, tuvieran personalidades tan opuestas. Mientras que a Schrödinger siempre le acompañaba alguna amiga, Dirac era terriblemente tímido con las mujeres y hombre de pocas palabras. Después de la muerte de Dirac, los británicos, en honor a sus contribuciones a la física, grabaron la ecuación relativista de Dirac en una piedra de Westminster Abbey, cerca de la lápida de Newton.)

Pronto los físicos de todos los institutos de este planeta luchaban por entender las extrañas y bellas propiedades de las ecuaciones de Dirac y Schrödinger. Sin embargo, a pesar de su innegable éxito, los físicos cuánticos todavía forcejeaban con una preocupante incógnita filosófica: si la materia es una onda, entonces *¿qué es exactamente lo que ondea?* Ésta era la misma pregunta que había perseguido a la teoría ondulatoria de la luz y que desembocó en la teoría incorrecta de éter. Una onda de Schrödinger es como una ola en el océano que con el tiempo se esparce por sí misma. Con tiempo suficiente, la función de ondas se disipa por todo el universo. Pero esto violaba todo lo que los físicos conocían sobre los electrones. Se creía que las partículas subatómicas eran partículas puntuales que hacían rayas definidas que podían ser fotografiadas. Por tanto, a pesar de que estas ondas cuánticas tenían un éxito casi milagroso describiendo el átomo de hidrógeno, no parecía posible que una onda de Schrödinger describiera un electrón moviéndose de manera libre por el espacio. De hecho, si la onda de Schrödinger realmente representara un electrón, se disiparía lentamente y el universo se disolvería.

En algún sitio se había deslizado una equivocación muy seria. Max Born, el gran amigo de Einstein, sería quien finalmente propusiera una de las soluciones más polémicas a este rompecabezas. En 1926 Born dio el paso decisivo, afirmando que la onda de Schrödinger no describía el electrón en absoluto, sino tan sólo la *probabilidad* de encontrar el electrón. Declaró que “el movimiento de las partículas sigue las leyes de

la probabilidad, pero la propia probabilidad sigue las leyes de causalidad". En esta nueva imagen, la materia estaba formada por partículas, no por ondas. Las marcas impresas sobre las placas fotográficas eran las trayectorias de partículas puntuales, no ondas. Pero la probabilidad de encontrar la partícula en un punto dado venía determinada por una onda. (Más exactamente, el cuadrado absoluto de la onda de Schrödinger representa la probabilidad de encontrar una partícula en un punto específico en el espacio y el tiempo.) Por tanto, no importaba si la onda de Schrödinger se extendía con el tiempo. Sencillamente quería decir que si se dejaba a un electrón solo, con el tiempo vagaría por un espacio mucho mayor y no sabríamos exactamente su posición. Todas las paradojas se habían resuelto: la onda de Schrödinger no era la propia partícula, sino que representaba la probabilidad de encontrarla.

Werner Heisenberg dio un paso más allá. Había discutido constantemente con Bohr sobre los enigmas de la probabilidad que infestaban esta nueva teoría, a menudo acaloradamente. Un día, después de una noche frustrante tratando de resolver el problema de las probabilidades, dio un largo paseo por el Parque Faelled, detrás de su universidad, constantemente preguntándose cómo era posible que no se supiera la posición exacta del electrón. ¿Cómo puede ser incierta la posición del electrón, como decía Bohr, si se puede sencillamente medir dónde está?

Entonces se le ocurrió de repente. Todo se hizo obvio. Para poder saber dónde está el electrón, debes mirarlo. Esto significaba iluminarlo con un rayo de luz. Pero los fotones del rayo de luz colisionarían con el electrón, haciendo su posición incierta. En otras palabras, el acto de la observación introducía incertidumbre. Reformuló esta pregunta en la forma de un nuevo principio de la física: el principio de incertidumbre, que afirma que no se puede determinar la velocidad y la posición de una partícula al mismo tiempo. (Más exactamente, el producto de la incertidumbre en posición y momento lineal debe ser mayor o igual a la constante de Planck dividida por 4π*).* Esto no era solamente un producto secundario de la poca precisión de nuestros instrumentos; era una ley

fundamental de la Naturaleza. Ni siquiera Dios podía saber al mismo tiempo la posición exacta y el momento lineal de un electrón.

Este fue el momento decisivo en el que la teoría cuántica se precipitó hacía zonas completamente desconocidas. Hasta entonces se podía argumentar que los fenómenos cuánticos eran estadísticos, representando el movimiento promedio de trillones de electrones. Ahora, ni siquiera el movimiento de un único electrón podía determinarse definitivamente. Einstein estaba horrorizado. Se sintió casi traicionado, sabiendo que su buen amigo Max Born había abandonado el determinismo, una de las ideas más apreciadas de toda la física clásica. En esencia, el determinismo afirma que se puede determinar el futuro si se conoce todo sobre el presente. Por ejemplo, la gran contribución de Newton a la física fue la capacidad de predecir el movimiento de cometas, lunas y planetas a través de sus leyes y a partir del estado del sistema solar. Durante siglos los físicos se han maravillado de la precisión de las leyes de Newton y de que, en principio, pudieran determinar la posición de los cuerpos celestes, dentro de millones de años. De hecho, hasta entonces, toda la ciencia se basaba en el determinismo; es decir, un científico puede predecir el resultado de un experimento si conoce la posición y velocidad iniciales de todas las partículas. Seguidores de Newton resumían esta creencia comparando el universo con un reloj gigante. Dios había dado cuerda a este reloj en el principio de los tiempos y sus agujas han avanzado uniformemente desde entonces siguiendo las leyes del movimiento de Newton. Si se conoce la posición y velocidad de cada átomo del universo, entonces se puede, mediante las leyes del movimiento de Newton, calcular la siguiente evolución con precisión infinita. Sin embargo, el principio de incertidumbre lo negaba todo, afirmando que era imposible predecir el futuro del universo. Dado un átomo de uranio, por ejemplo, no se puede calcular jamás cuándo decaerá, tan sólo la probabilidad de que lo haga. De hecho, ni siquiera Dios sabe cuándo decaerá el átomo de uranio.

En diciembre de 1926, en respuesta al artículo de Born, Einstein escribió: “La mecánica cuántica merece mucho respeto. Pero alguna voz interior me dice que no es el verdadero Jacob. La teoría nos ofrece mucho, pero se queda a un paso de su gran secreto. Por mi parte, estoy por lo menos convencido de que Dios no juega a los dados”. Cuando comentaba la teoría de Heisenberg, Einstein decía: “Heisenberg ha puesto un enorme huevo cuántico. En Göttingen le creen (yo no)”. Al mismo Schrödinger le desagradaba enormemente esta idea. Una vez dijo que si su ecuación tan sólo representaba probabilidades, que se avergonzaba de tener algo que ver con ella. Einstein afirmaba que se habría hecho “zapatero remendón o empleado en un casino” si hubiera sabido que la revolución cuántica que él había ayudado a iniciar introduciría la probabilidad en la física.

Los físicos comenzaban a dividirse en dos grupos. Einstein lideraba un grupo que todavía se aferraba a la creencia del determinismo, una idea que venía de los tiempos de Newton y había guiado a los físicos durante siglos. De su parte estaban Schrödinger y de Broglie. El otro grupo, mucho mayor, liderado por Niels Bohr, creía en la incertidumbre y fomentaba una nueva visión de la causalidad, basada en promedios y probabilidades.

Bohr y Einstein, de alguna manera, eran completamente opuestos. Mientras que Einstein de niño odiaba los deportes y parecía pegado a los libros de geometría y filosofía, Bohr era conocido en Dinamarca por ser un gran jugador de fútbol. Mientras que Einstein hablaba con fuerza y ritmo, casi líricamente, y podía charlar tanto con periodistas como con la realeza, Bohr era estirado, tenía un remugar horrible, a menudo era inarticulado e inaudible, y solía repetir una palabra una y otra vez cuando estaba absorto en algún pensamiento. Einstein era capaz de escribir una prosa elegante y bella sin ningún esfuerzo, pero Bohr se quedaba paralizado siempre que tenía que escribir un artículo. Cuando era alumno de instituto solía dictar todos sus trabajos a su madre. Después de casarse, los dictarla a su mujer (llegando al punto de interrumpir su luna de

miel para dictar un artículo largo e importante). A menudo implicaba a todo su laboratorio en la reescritura de un artículo, en una ocasión más de cien veces, interrumpiendo completamente cualquier otro trabajo. (Wolfgang Pauli, cuando se le pidió que visitara a Bohr en Copenhague, respondió: "No iré hasta que no haya entregado la última prueba para su publicación") Ambos, sin embargo, estaban obsesionados con su primer amor, la física. Bohr, de hecho, escribía ecuaciones en el poste de la portería de fútbol si tenía una inspiración durante un partido. Ambos se servían de otros como consejeros y cajas de resonancia para avanzar en sus estudios. (Curiosamente, Bohr tan sólo funcionaba si tenía asistentes a su alrededor con quien comentar las ideas. Sin un asistente a su lado, estaba perdido.)'

La confrontación decisiva tuvo lugar en la Sexta Conferencia Solvay en Bruselas en 1930. Lo que se discutía era nada menos que la naturaleza de la propia realidad. Einstein machacaba con ahínco a Bohr, que se tambaleaba bajo los ataques constantes, pero fue capaz de mantener sus posiciones. Finalmente, Einstein presentó un "experimento mental" que, creía, demolería al "demonio", el principio de incertidumbre: imaginemos una caja que contiene radiación. Hay un agujero en la caja con un obturador. Cuando el obturador se abre brevemente, puede liberar un solo fotón de la caja. Por tanto, podemos medir con gran certeza el momento exacto en que se emite el fotón. Más tarde la caja se puede pesar. Dado que ha liberado un fotón, la caja es más ligera. Gracias a la equivalencia entre masa y energía, podemos calcular cuál es la energía total contenida dentro de la caja, también con una gran precisión. De esta manera podemos conocer con precisión y sin ninguna incertidumbre tanto la energía total como el momento en que el fotón fue liberado; por tanto, el principio de incertidumbre está equivocado. Einstein creyó que finalmente había encontrado la herramienta para demoler la nueva teoría cuántica.

Paul Ehrenfest, uno de los participantes en el congreso y testigo de esta feroz lucha, escribiría que "para Bohr, éste fue un duro golpe. En el mismo momento de la

discusión no vio ninguna solución. Estuvo extremadamente enfadado toda la noche e iba de uno a otro intentando persuadirles de que no podía ser cierto, porque si Einstein estaba en lo cierto significaría el fin de la física. Pero no se le ocurría ninguna refutación. Nunca olvidaré la imagen de los dos oponentes saliendo del club de la universidad. Einstein, una silueta majestuosa, caminando tranquilamente con una ligera sonrisa irónica, y Bohr trotando a su lado, extremadamente acongojado". Cuando habló con Ehrenfest aquella noche, todo lo que Bohr podía mascullar era una palabra, una y otra vez: "Einstein... Einstein... Einstein". Pero después de una intensa noche en vela, Bohr encontró finalmente el defecto del razonamiento de Einstein, y usó su propia teoría de la relatividad para vencerle. Bohr apuntó que, dado que la caja pesaba menos que antes, se levantaría levemente en la gravedad terrestre. Pero de acuerdo con la relatividad general, el tiempo se acelera a medida que la gravedad disminuye de intensidad (de manera que el tiempo corre más rápido en la Luna, por ejemplo). Por tanto, cualquier incertidumbre, por minúscula que fuera, en la medida del momento de apertura del obturador se traduciría en una incertidumbre al medir la posición de la caja. Por tanto, no es posible medir la posición de la caja con absoluta certeza. Además, cualquier incertidumbre en el peso de la caja se convertiría en una incertidumbre en su energía y en su momento lineal, y por tanto no es posible conocer el momento lineal de la caja con absoluta certeza. Cuando todo se junta, las dos incertidumbres descubiertas por Bohr, la incertidumbre de la posición-y la incertidumbre del momento lineal, confirman exactamente el principio de incertidumbre. Bohr había defendido exitosamente la teoría cuántica. Cuando Einstein protestó diciendo que "Dios no juega a los dados con el mundo", Bohr le replicó: "Para ya de decirle a Dios lo que debe hacer".

Finalmente, Einstein tuvo que admitir que Bohr había refutado efectivamente sus argumentos. "Estoy convencido de que esta teoría contiene sin lugar a duda una pieza de verdad definitiva", escribiría. Comentando el histórico debate Bohr-Einstein, John Wheeler dijo que era "el mayor debate en la historia intelectual que conozco. En treinta años, jamás he oído hablar de un debate entre dos hombres más grandes, durante

un periodo de tiempo más largo, sobre un asunto más profundo, con consecuencias más importantes para entender este extraño mundo nuestro".

Schrödinger, que también odiaba esta nueva interpretación de sus ecuaciones, propuso su famoso problema del gato para minar el principio de incertidumbre. "No me gusta, y me avergüenzo de tener algo que ver con ella", escribió sobre la mecánica cuántica. El problema más ridículo, escribió, era el de un gato encerrado dentro de una caja, dentro de la cual hay una botella de cianuro de hidrógeno, un gas venenoso, conectado a un martillo, disparado por un contador Geiger, que a su vez está conectado a un trozo de sustancia radiactiva. No hay duda de que el decaimiento radiactivo es un efecto cuántico. Si el uranio no decae, el gato está vivo. Pero si un átomo decae, activará el contador, disparará el martillo, romperá el cristal de la botella y matará al gato. Pero de acuerdo con la teoría cuántica, no podemos predecir cuándo decaerá el átomo de uranio. En principio puede existir en los dos estados, tanto intacto como decaído. Pero si el átomo de uranio puede existir en los dos estados, quiere decir que el gato también debe existir en ambos estados. La pregunta es, ¿el gato está vivo o muerto?

Habitualmente, esta pregunta es bastante tonta. Aunque no podamos abrir la caja, el sentido común nos dice que el gato está o vivo o muerto. No se puede estar vivo y muerto simultáneamente; esto violaría todo lo que conocemos sobre el universo y la realidad física. Sin embargo, la teoría cuántica nos da una respuesta extraña. La respuesta final es que no lo sabemos. Antes de abrir la caja, el gato está representado por una onda, y las ondas se pueden sumar, como los números. Tenemos que sumar la función del gato vivo a la del gato muerto. *Por lo tanto, el gato no está ni vivo ni muerto antes de abrir la caja.* Sellado dentro de la caja, todo lo que se puede decir es que hay ondas que representan al gato como vivo y muerto al mismo tiempo.

Cuando finalmente abrimos la caja, podemos hacer la medición y comprobar por nosotros mismos si el gato está vivo o muerto. El proceso de medición, hecho por un

observador externo, nos permite “colapsar” la función de ondas y determinar el estado exacto del gato. Entonces sabemos si está vivo o muerto. La clave es la medición por un observador externo y la consiguiente iluminación del interior de la caja. Debido a esto, la función de ondas colapsa y el objeto asume de pronto un estado definitivo.

En otras palabras, el proceso de observación determina el estado final de un objeto. La debilidad de la interpretación de Bohr yacía en la pregunta, ¿existen realmente los objetos antes de ser observados? A Einstein y Schrödinger todo esto les parecía absurdo. Durante el resto de su vida, Einstein lucharía por responder a estas profundas preguntas filosóficas (que todavía hoy son objeto de intensos debates).

Varios aspectos molestos de este rompecabezas trastornaron a Einstein. En primer lugar, antes de hacer una medición existimos como la suma de todos los universos posibles. No podemos asegurar si estamos vivos o muertos, o si los dinosaurios siguen vivos, o si la Tierra fue destruida miles de millones de años atrás. Todos los sucesos, antes de hacer la observación, son posibles. En segundo lugar, ¡parecería que el proceso de la observación crea la realidad! Por lo tanto, tenemos una nueva complicación al antiguo problema filosófico de si un árbol realmente cae en el bosque si nadie puede oírlo. Un newtoniano argumentaría que el árbol puede caer independientemente de la observación. Pero alguien de la escuela de Copenhague diría que el árbol puede existir en todos los estados (caído, de pie, retoño, maduro, quemado, podrido, etc.) hasta que es observado, momento en el que comienza a existir. Por tanto la teoría cuántica añade una interpretación completamente inesperada: la observación *determina el* estado del árbol, es decir, si cayó o no.

Einstein, desde sus días en la oficina de patentes, había tenido una habilidad especial para aislar la esencia de cualquier problema. Su pregunta a los visitantes que iban a su casa era, "¿existe la Luna porque la mire un ratón?” Si la escuela de Copenhague está en lo cierto, entonces sí, en algún sentido la Luna existe porque un

ratón la mira y la función de ondas de la Luna colapsa. Durante décadas, varias "soluciones" se han dado al problema del gato, ninguna de ellas completamente satisfactoria. A pesar de que nadie cuestiona la validez de la propia mecánica cuántica, estas preguntas todavía son algunos de los mayores retos filosóficos de la física.

"He pensado cien veces más en los problemas cuánticos que en la teoría de la relatividad general", escribió Einstein sobre cómo se enfrentaba continuamente a los cimientos de la teoría cuántica. Después de pensar en ello concienzudamente, Einstein disparó con lo que creía que era la crítica definitiva de la teoría cuántica. En 1933, con sus estudiantes Boris Podolsky y Nathan Rosen, propuso un nuevo experimento que todavía hoy causa dolores de cabeza tanto a los físicos cuánticos como a los filósofos. El "experimento EPR" puede no haber derrocado la teoría cuántica, como Einstein esperaba, pero ha conseguido que esta teoría, que ya era bastante enrevesada, se vuelva cada vez más extraña. Supongamos que un átomo emite dos electrones en direcciones opuestas. Cada electrón gira sobre sí mismo como una peonza, apuntando hacia arriba o hacia abajo. Supongamos que giran en sentidos opuestos, de manera que la cantidad de giro total es cero, a pesar de que no se sabe en qué sentido gira cada uno. Por ejemplo, un electrón puede estar girando hacia arriba, mientras que el otro gira hacia abajo. Si esperamos lo suficiente, estos electrones pueden estar separados por miles de millones de kilómetros. Antes de hacer ninguna medición, desconocemos el sentido de giro de los electrones.

Ahora supongamos que finalmente observamos el sentido de giro de uno de los electrones. Por ejemplo, descubrimos que gira hacia arriba. Instantáneamente, conocemos el sentido de giro del otro electrón, a pesar de que está a varios años luz de distancia: dado que gira en sentido opuesto al del otro electrón, debe estar girando hacia abajo. Esto significa que una medida en un punto del universo instantáneamente determina el estado de un electrón en el otro lado del universo, al parecer violando la relatividad especial. Einstein lo llamaba "misteriosa acción-a-distancia". Las

implicaciones filosóficas de este argumento son bastante alarmantes. Implica que los átomos de nuestro cuerpo pueden estar conectados mediante una red invisible con átomos al otro lado del universo, de manera que el movimiento de nuestro cuerpo puede afectar al estado de átomos a miles de millones de años luz de distancia, al parecer violando la relatividad especial. A Einstein le desagradaba esta idea, ya que quería decir que el *universo no era local,* es decir, que sucesos ocurridos sobre la Tierra afectan instantáneamente a sucesos que ocurren en el otro lado del universo; los efectos de estos sucesos viajan más velozmente que la luz.

Al oír de esta nueva objeción a la mecánica cuántica, Schrödinger escribió a Einstein: "Estoy muy satisfecho de que en ese artículo [...] evidentemente ha cogido por la cola a la dogmática mecánica cuántica". Sobre el último artículo de Einstein, León Rosenfeld, un colega de Bohr, dijo: "Lo dejamos todo; teníamos que esclarecer tal malentendido inmediatamente. Bohr, en gran estado de excitación, comenzó a dictar al momento el borrador de una réplica".

La escuela de Copenhague mantuvo el tipo, pero a qué precio: Bohr tuvo que conceder a Einstein que el universo cuántico no era local (es decir, que sucesos en una parte del universo pueden afectar instantáneamente a otra parte del universo). Todo en el universo parecía mezclado en un "embrollo" cósmico. De manera que el experimento EPR no derrocó la mecánica cuántica; tan sólo mostró hasta qué punto llega su locura. (Desde entonces, el experimento ha sido malinterpretado, con multitud de especulaciones sobre rayos EPR más rápidos que la luz, o sobre la posibilidad de enviar señales atrás en el tiempo, o sobre la capacidad de utilizar este efecto para fines telepáticos.)

El experimento EPR, sin embargo, no negaba la relatividad, con lo que, en este sentido, Einstein se rió el último. Ninguna información útil se puede transmitir a través del experimento EPR. Por ejemplo, no se puede enviar código Morse más rápido que la luz

con el instrumental del EPR. El físico John Bell usó este ejemplo para ilustrar el problema. Describió un matemático llamado Bertlmann que siempre llevaba un calcetín rosa y el otro verde. Si sabías que en un pie llevaba puesto el calcetín verde, sabías inmediatamente que en el otro pie llevaba el calcetín rosa. Aun así ninguna señal viajaba de un pie a otro. En otras palabras, saber una cosa es completamente diferente a enviar dicho conocimiento. Hay un mundo de diferencia entre la posesión de la información y su transmisión.

Hacia finales de los años veinte había dos ramas importantes en la física: la relatividad y la teoría cuántica. La suma total del conocimiento humano sobre el universo físico se podía resumir en estas dos teorías. Una teoría, la relatividad, nos ofrecía una explicación sobre lo muy grande, la teoría del Big Bang y los agujeros negros. La otra teoría, la teoría cuántica, nos ofrecía una explicación sobre lo muy pequeño, el extraño mundo del átomo. A pesar de que la teoría cuántica se basaba en ideas poco intuitivas, nadie podía disputarle los éxitos experimentales. Los premios Nobel prácticamente volaban hacia las manos de jóvenes científicos dispuestos a aplicar la teoría cuántica. Einstein era un físico con demasiada experiencia para poder ignorar los avances que se hacían a diario en el campo de la teoría cuántica. No desafiaba sus éxitos experimentales. La mecánica cuántica era “la teoría física más exitosa de nuestra época", admitiría. Einstein tampoco se opuso al desarrollo de la mecánica cuántica, como habría hecho un físico de menor categoría. (En 1929, Einstein recomendó que Schrödinger y Heisenberg compartieran el Premio Nobel.) Lo que sí hizo Einstein fue cambiar de estrategia. Ya no atacaría la teoría como incorrecta. Su nueva estrategia era absorber la teoría cuántica e incluirla en su teoría unificada de campos. Cuando un ejército de críticos simpatizantes de Bohr le acusaron de estar ignorando el mundo cuántico, replicó que el tamaño de su objetivo era poco menos que cósmico: introducir completamente la teoría cuántica en su nueva teoría. Einstein usó una analogía obtenida a partir de su propio trabajo. La relatividad no había demostrado que la teoría newtoniana fuera completamente incorrecta; tan sólo demostró que era incompleta, que podía ser parte de

una teoría mayor. La teoría newtoniana es bastante válida en su dominio particular: el reino de las velocidades bajas y los objetos grandes. De manera similar, Einstein creía que las extrañas suposiciones de la teoría cuántica sobre gatos que están vivos y muertos al mismo tiempo se podrían explicar mediante una teoría superior. En este aspecto, legiones de biógrafos de Einstein han estado equivocados. Su objetivo no era demostrar que la teoría cuántica fuese incorrecta, como muchos de sus críticos han afirmado. Demasiado a menudo se le ha retratado como el último dinosaurio de la física clásica, el rebelde senescente convertido en voz reaccionaría. El verdadero objetivo de Einstein era exponer que la teoría cuántica era incompleta y utilizar la teoría unificada de campos para completarla. De hecho, una de las propiedades perseguidas de la teoría unificada de campos era que, en alguna aproximación, debía reproducir el principio de incertidumbre.

La estrategia de Einstein consistió en usar la relatividad general y su teoría unificada de campos para explicar el origen de la propia materia, *para construir la materia a partir de la geometría.* En 1935, Einstein y Nathan Rosen investigaron una nueva manera según la cual las partículas cuánticas como el electrón aparecían naturalmente a partir de su teoría en vez de como objetos fundamentales. De esta manera, esperaba derivar la teoría cuántica sin ni siquiera tener que enfrentarse al problema de las probabilidades y la estadística. En la mayoría de teorías, las partículas elementales aparecen como singularidades, es decir, regiones donde las ecuaciones estallan. Por ejemplo, en las ecuaciones de Newton la fuerza viene dada por el inverso del cuadrado de la distancia entre dos objetos. Cuando esta distancia tiende a cero, la fuerza de la gravedad tiende a infinito, dando lugar a una singularidad. Dado que Einstein quería derivar la teoría cuántica a partir de una teoría más profunda, argumentaba que necesitaba una teoría que no tuviera singularidad alguna. (Existen ejemplos de esto en sencillas teorías cuánticas. Se llaman solitones y parecen bultos en el espacio; es decir, son suaves, no singulares y pueden rebotar entre ellos y mantener la misma forma.)

Einstein y Rosen propusieron una nueva manera de llegar a dicha solución. Comenzaron con dos Agujeros negros de Schwarzschild, definidos sobre dos hojas de papel. Utilizando tijeras era posible recortar cada singularidad de los agujeros negros y pegar de nuevo las páginas. Así se obtiene una solución suave sin singularidades, que Einstein creía que podría representar una partícula subatómica. Por tanto, *las partículas cuánticas se pueden ver como minúsculos agujeros negros.* (De hecho, esta idea fue resucitada sesenta años más tarde por la teoría de las cuerdas, donde hay relaciones matemáticas que pueden convertir partículas subatómicas en agujeros negros y viceversa.)

Este “puente Einstein-Rosen”, sin embargo, puede ser visto de otra manera. Representa la primera mención en la literatura científica de un “agujero de gusano” que conecta dos universos. Los agujeros de gusano son atajos a través del tiempo y el espacio, como un portal que comunica dos hojas paralelas de papel. El concepto de agujeros de gusano fue llevado al público por Charles Dodgson (también conocido como Lewis Carroll), el matemático de Oxford y, más conocidamente, autor de *Alicia en el país ele las maravillas y A través del espejo.* Cuando Alicia mete su mano por el espejo, está en efecto entrando en una especie de puente Einstein-Rosen que conecta dos universos -el extraño País de las maravillas y la campiña de Oxford-. Se dieron cuenta, por supuesto, de que quien cayera a través de un puente Einstein-Rosen sería aplastado hasta la muerte por la intensa fuerza gravitatoria, suficiente para separar los átomos de su cuerpo. Pasar a través de un agujero de gusano hacia un universo paralelo era imposible si el agujero negro era estacionario. (Pasarían más de sesenta años antes de que el concepto de los agujeros de gusano ocupara un lugar clave en la física.)

Con el tiempo, Einstein abandonó esta idea, en parte porque era incapaz de explicar la riqueza del mundo subatómico. No podía explicar todas las curiosas propiedades de la “madera” en función del “mármol”. Sencillamente había demasiadas

propiedades de las partículas subatómicas (por ejemplo, el spin, carga, números cuánticos, etc.) que no emergían de sus ecuaciones. Su objetivo era encontrar la imagen que revelara la teoría unificada de campos en todo su esplendor, pero en ese momento no se sabía lo suficiente sobre las fuerza nucleares, y esto acabó siendo un problema crucial. Einstein trabajó décadas antes de que los datos de potentes colisionadores de átomos clarificaran la naturaleza de la materia subatómica. Por consiguiente, la imagen jamás llegó.

GUERRA, PAZ Y $E = MC^2$

En los años treinta, con el mundo en las garras de la Gran Depresión, el caos se apoderaba de nuevo de las calles alemanas. Con el colapso de las divisas, los esforzados trabajadores de clase media vieron cómo los ahorros de toda una vida desaparecían de un día para otro. El ascendente partido nazi se alimentaba de la miseria y las penas del pueblo alemán, concentrando su odio en el chivo expiatorio más conveniente: los judíos. Pronto, con el soporte financiero de la gran industria, se convirtió en la fuerza más numerosa del Reichstag. Einstein, que había resistido a los antisemitas durante años, se dio cuenta de que esta vez la situación amenazaba su propia vida. Era pacifista, pero también era realista, y ajustó su visión de la situación ante el meteórico ascenso del partido nazi. “Esto quiere decir que me opongo al uso de la fuerza en cualquier circunstancia excepto cuando me enfrento a un enemigo que tiene como fin la destrucción de la vida”, escribió. Esta flexibilidad se pondría a prueba.

En 1981 se publicó un libro llamado *Cien autoridades contra Einstein,* repleto de argumentos antisemitas dirigidos contra el famoso físico. "El objetivo de este libro es oponerse al terror de los einstenianos con una demostración de fuerza de la oposición”, rezaba el documento. Más tarde, Einstein bromeó que no se necesitaban cien autoridades para destruir la relatividad. Si fuera incorrecta, un pequeño hecho sería suficiente. En diciembre de 1932, Einstein, incapaz de resistir la creciente oleada del nazismo, se fue de Alemania. Dijo a Elsa que mirara su casa de campo de Caputh y añadió tristemente, “date la vuelta, no la volverás a ver jamás”. La situación se deterioró dramáticamente el 30 de enero de 1933, cuando los nazis, ya entonces el grupo parlamentario más numeroso del Reichstag, ascendieron al poder y Adolf Hitler fue elegido canciller de Alemania. Los nazis confiscaron las propiedades de Einstein y su cuenta bancaria, dejándole oficialmente en bancarrota, y ocuparon su querida casa de

Caputh, afirmando que habían encontrado allí una peligrosa arma. (Más tarde se descubrió que había sido un cuchillo de pan. La casa de Caputh fue usada durante el Tercer Reich por la nazi Bund Deutsches Mädel, la “Liga de las chicas alemanas”.) El 10 de mayo, los nazis llevaron a cabo la incineración de libros prohibidos, entre los cuales se hallaban los trabaos de Einstein. Ese año, Einstein escribió al pueblo belga, entonces bajo la sombra de Alemania: “En las actuales condiciones, si yo fuera belga no me opondría al servicio militar”. Sus afirmaciones se publicaron en medios de comunicación de todo el mundo y le ganaron el desdén de los nazis y de otros pacifistas, que creían que la única manera de combatir a Hitler era mediante medios pacíficos. Einstein, dándose cuenta de la magnitud de la brutalidad del régimen nazi, no se inmutó: “Los antimilitaristas me están atacando como si fuera un renegado maldito... esta gente tiene los ojos vendados”.

Obligado a abandonar Alemania, Einstein se convirtió de nuevo en una persona sin hogar. En su viaje a Inglaterra en 1933, fue hasta las propiedades de Winston Churchill para visitarle. En libro de visitas de Churchill, Einstein escribió “Ninguna” bajo el apartado “Dirección”. Estando en los primeros puestos de la lista de infames del régimen nazi, tenía que ser cuidadoso con su seguridad. Una revista alemana, al dar la relación de los enemigos del régimen nazi, situaba a Einstein en la portada con la leyenda “Todavía por colgar”. Los antisemitas decían orgullosos que si habían echado a Einstein de Alemania, podrían echar a todos los científicos judíos. Mientras, los nazis aprobaron una nueva ley que decretaba el despido de todos los funcionarios judíos y que significó un desastre para la ciencia alemana. Nueve galardonados con el Premio Nobel tuvieron que dejar Alemania por la nueva ley del cuerpo de funcionarios, y setecientos miembros del profesorado fueron despedidos el primer año, causando enorme pérdida para la ciencia y la tecnología alemanas. El éxodo masivo de la Europa controlada por los nazis fue impresionante, mermando drásticamente lo mejor de la élite científica.

Max Planck, el eterno conciliador, se negó a secundar todos los intentos de sus

colegas de oponerse públicamente a Hitler. Prefirió utilizar canales privados y llegó a reunirse personalmente con Hitler en mayo de 1933, haciendo un ruego final para evitar el derrumbe de la ciencia alemana. “Esperaba convencerle de que estaba haciendo un enorme daño... expulsando a nuestros colegas judíos; mostrarle la inmoralidad de victimizar a hombres que siempre se habían considerado alemanes, y estaban dispuestos a dar su vida por Alemania como todos nosotros” escribiría. En la reunión, Hitler dijo que él no tenía nada contra los judíos, pero que todos eran unos comunistas. Cuando Planck intentó responder, Hitler le gritó: “¡La gente dice que tengo ataques de debilidad nerviosa, pero yo tengo nervios de acero!”. Entonces se dio una palmada sobre la rodilla y continuó su retahíla contra los judíos. Planck lamentaría: “No conseguí que me entendiera... Sencillamente no hay idioma alguno con el que hablar a esta gente”.

Los colegas judíos de Einstein se fueron de Alemania para salvar sus vidas. Leo Szilard se esfumó con los ahorros de toda una vida embutidos en sus zapatos. Fritz Haber abandonó Alemania en 1933 hacia Palestina. (Irónicamente, como leal científico alemán había ayudado a desarrollar gas venenoso para el ejército alemán. Más tarde, su propio gas, el tristemente famoso Zyklon B fue utilizado para asesinar numerosos familiares suyos en el campo de concentración de Auschwitz.) Erwin Schrödinger, que no era judío, también fue barrido por la histeria. El 31 de marzo de 1931, cuando los nazis declararon un boicot nacional a todas las tiendas judías, se encontraba por casualidad ante un gran centro comercial judío de Berlín, Wertheim, cuando presenció cómo grupos de soldados de las tropas de asalto adornados con esvásticas propinaban palizas a los tenderos judíos, entre las risas y miradas de los transeúntes. Schrödinger, indignado, se acercó a uno de los soldados y comenzó a insultarle. Entonces todos ellos se giraron hacia él y comenzaron a agredirle. Podría haber resultado herido gravemente, a no ser porque un joven físico que lucía una esvástica le reconoció inmediatamente y pudo sacarlo de allí. Fuertemente conmocionado, Schrödinger abandonaría Alemania para ir a Inglaterra e Irlanda.

En 1943 los nazis invadieron Dinamarca y Bohr, que era judío en parte, se convirtió en un objetivo a extinguir. Consiguió escapar tan sólo un paso por delante de la Gestapo a través de Suecia y después volar hacia Inglaterra, a pesar de que casi muere de asfixia en el avión a causa de una máscara de oxígeno defectuosa. Planck, un patriota leal que jamás abandonó Alemania, también sufrió. Su hijo fue arrestado por intentar asesinar a Hitler, por lo que fue torturado por los nazis y más tarde ejecutado.

Einstein, a pesar del exilio, se veía apabullado con ofertas de trabajo de diversos lugares del mundo. Universidades punteras en Inglaterra, España y Francia deseaban captar a este personaje mundialmente famoso. Einstein había estado ya en la Universidad de Princeton como profesor invitado, combinando los inviernos en esta universidad con los veranos en Berlín. Abraham Flexner, en representación de un nuevo instituto que se iba a crear en Princeton, sobre la base de unos fondos de cinco millones de dólares de la fortuna Bamberger, se había reunido con Einstein varias veces y le había ofrecido la posibilidad de que entrase en el nuevo instituto. Lo que atraía a Einstein era que tendría libertad para viajar y no tendría obligaciones docentes. A pesar de que era un conferenciante muy popular, y a menudo hacía reír a carcajadas a la audiencia y divertía a la realeza con curiosas anécdotas, las obligaciones docentes le robaban demasiado tiempo de su apreciada física.

Un colega advirtió a Einstein que trasladarse permanentemente a Estados Unidos era como "suicidarse”. Estados Unidos, antes del repentino influjo de científicos judíos huyendo de la Alemania nazi, no tenía ninguna institución de aprendizaje avanzado que pudiera competir con las europeas. Defendiendo su elección, Einstein escribió a la reina Isabel de Bélgica: “Princeton es un lugar delicioso... un curioso pueblo de insignificantes semidioses sobre zancos. Ignorando ciertas convenciones, he conseguido crear una atmósfera personal muy propicia para el estudio y libre de toda distracción”. Las noticias de que Einstein se había quedado en Estados Unidos dieron la vuelta al mundo. El “Papa de la física” había dejado Europa. El nuevo Vaticano sería el

Instituto de Estudios Superiores de Princeton.

Cuando le enseñaron a Einstein su oficina, le preguntaron qué necesitaba. Además de una silla y una mesa, dijo que necesitaría una “gran papelera... para poder tirar todos mis errores”. (El instituto, al parecer, también hizo una oferta a Erwin Schrödinger, Este, que, según se dice, a menudo era acompañado por su mujer y su amante y practicaba un “matrimonio abierto” con una larga lista de amantes, encontró que la atmósfera era demasiado conservadora y sofocante.) El pueblo americano estaba fascinado por la nueva estrella de Nueva Jersey, que instantáneamente se convirtió en el científico más famosos del país. Pronto fue una figura conocida por todos. Dos europeos, en una apuesta, enviaron una carta a “Dr. Einstein, América", para ver si llegaría a su destino. Lo hizo.

Los años treinta fueron duros para Einstein. Parecía que sus peores temores sobre su hijo Eduard (cariñosamente apodado Tedel) se confirmaron cuando Eduard sufrió una crisis nerviosa en 1930 después de un romance fallido con una mujer mayor. Lo llevaron al hospital psiquiátrico de Zúrich, donde anteriormente habían internado a la hermana de Mileva. Le fue diagnosticada esquizofrenia y no podría abandonar jamás los cuidados de una institución psiquiátrica excepto para cortas visitas. Einstein, que siempre había sospechado que uno de sus hijos podría heredar los trastornos mentales de su mujer, echó la culpa a la “mala herencia”. “Lo veía venir, lenta pero irresistiblemente, desde la juventud de Tedel”, escribió tristemente. En 1933, su gran amigo Paul Ehrenfest, que había contribuido a estimular el desarrollo temprano de la relatividad general, se suicidó después de disparar y asesinar a su hijo retardado mental.

Después de una prolongada y dolorosa enfermedad, Elsa, que había estado con Einstein durante unos veinte años, murió en 1936. Según sus amigos, Einstein estaba “profundamente dolorido y acongojado”. Su muerte “aniquiló la unión más fuerte que había tenido con otro ser humano”. Fue muy duro para él, pero logró recuperarse

lentamente. “Me he habituado extremadamente bien a la vida de aquí. Vivo como un oso en su madriguera... La condición de salvaje de mi situación se ha visto acentuada por la muerte de mi compañera femenina, que era mucho mejor que yo con los demás”, escribiría.

Después de la muerte de Elsa, Einstein viviría con su hermana Maja, que había escapado de los nazis, su hijastra Margot y su secretaria Helen Dukas. Había comenzado la fase final de su vida. Durante los años treinta y cuarenta había envejecido considerablemente y sin Elsa para cuidar de su apariencia, el personaje elegante y carismático que había deslumbrado a reyes y reinas vestido con esmoquin volvió al estilo bohemio de su juventud. Fue entonces cuando se convirtió en el personaje de cabellos blancos recordado con cariño por el público, el sabio de Princeton, que alegremente saludaba tanto a los, niños como a la realeza.

Para Einstein, sin embargo, no había descanso. Mientras estaba .en Princeton, se enfrentó a otro reto, la construcción de la bomba atómica. En 1905 Einstein había especulado que su teoría podría explicar cómo una pequeña cantidad de radio podía brillar con fuerza en la oscuridad, liberando una gran cantidad de energía al parecer sin límite. De hecho, la cantidad de energía encerrada en el núcleo podía ser cien millones de veces mayor que la que tiene una bomba química. Hacia 1920 Einstein se había dado cuenta de las impresionantes implicaciones prácticas de la energía encerrada en el núcleo del átomo cuando escribió que “sería posible, y no es ni siquiera improbable, que nuevas fuentes de energía de enorme efectividad se descubran, pero esta idea no tiene ningún apoyo directo en las cosas que hasta ahora conocemos. Es muy difícil hacer profecías, pero está dentro del dominio de lo posible”. En 1921 llegó a especular que en algún momento, lejano en el tiempo, la economía actual, basada en el carbón, podría ser reemplazada por la energía nuclear. Pero también vio que había dos grandes problemas. El primero era que el fuego cósmico se utilizaría para hacer una bomba nuclear, con horribles consecuencias para la humanidad. “Todos los bombardeos desde la invención

de las armas de fuego serán un juego de niños comparado con sus efectos destructivos", escribió proféticamente. También escribió que una bomba atómica podría ser utilizada para desatar el terrorismo nuclear y hasta una guerra nuclear: "Suponiendo que sea posible liberar tal cantidad de energía, nos encontraríamos en una época que haría parecer dorado nuestro negro presente".

El segundo, y más importante, era la dificultad de construir tal arma. De hecho, dudaba que él llegara a verlo. Los problemas prácticos de captar la energía contenida en un átomo y magnificarla trillones de veces estaban completamente fuera del alcance de los científicos de los años veinte. Escribió que era tan difícil como "disparar a pájaros en la oscuridad, en un barrio donde hay pocos pájaros".

Einstein cayó en la cuenta de que la clave sería la capacidad de multiplicar de alguna manera la potencia de un solo átomo. Si se pudiera tomar la energía de un átomo y con ella iniciar la liberación de energía de los átomos colindantes, entonces uno podría magnificar esta energía nuclear. Insinuó que una reacción en cadena se podría dar si "los rayos liberados... son capaces al mismo tiempo de producir el mismo efecto". Pero en los años veinte no sabía cómo se podía llevar a cabo esta reacción en cadena. Otros, por supuesto, también consideraron la idea de la energía nuclear, pero no para el beneficio de la humanidad, sino con intenciones malévolas. En abril de 1924, Paul Harteck y Wilhelm Groth informaban al Departamento de Armamento del Ejército Alemán que "el país que la explote primero tendrá una ventaja incalculable sobre los otros".

La dificultad de liberar la energía se debe a que el núcleo del átomo está cargado positivamente y por tanto repele otras cargas positivas. De esta manera, el núcleo del átomo se protege de colisiones aleatorias que podrían liberar la enorme cantidad de energía que contiene. Ernest Rutherford, cuyo trabajo pionero condujo al descubrimiento del núcleo del átomo, descartó la posibilidad de una bomba atómica, afirmando que "cualquiera que espere encontrar una fuente de energía en la

transformación de estos átomos está diciendo pamplinas". Este bloqueo se rompió dramáticamente el año 1932, cuando James Chadwick descubrió una nueva partícula, el neutrón, un compañero del protón en el núcleo que tiene carga neutra. Si se pudiera disparar un rayo de neutrones al núcleo, entonces el neutrón, ajeno a los efectos del campo eléctrico alrededor del núcleo, sería capaz de hacerlo pedazos, liberando la energía nuclear.

Mientras Einstein dudaba sobre la posibilidad de una bomba atómica, sucesos clave que llevarían a la fisión nuclear iban teniendo lugar. En 1938, Otto Hahn y Fritz Strassmann del Instituto Kaiser Wilhelm de Física en Berlín electrificaban el mundo de la física al dividir el núcleo del uranio. Encontraron restos de bario después de bombardear uranio con un rayo de neutrones, lo que indicaba que el átomo de uranio se había partido en dos, creando bario en el proceso. Lise Meitner, una científica judía y colega de Hahn que había huido de los nazis, y su sobrino Otto Frisch encontraron la base teórica que le faltaba al experimento de Hahn. Sus resultados demostraban que lo que resultaba del proceso pesaba un poco menos que el núcleo original de uranio. Parecía que se perdía masa en la reacción. La división del átomo de uranio liberaba, además, 200 millones de electronvolts de energía, que al parecer aparecían de la nada. ¿Dónde iba la masa que faltaba y de dónde aparecía esta misteriosa energía? Meitner cayó en la cuenta de que la ecuación de Einstein $E = mc^2$ contenía la solución de este rompecabezas. Si se tomaba la masa que faltaba y se multiplicaba por c^2, el resultado era 200 millones de electronvolts. Bohr, cuando le explicaron esta sorprendente verificación de la ecuación de Einstein, en seguida se dio cuenta de la importancia del resultado. Se dio una palmada en la frente y exclamó, "¡Oh, qué tontos hemos sido todos!".

En marzo de 1939 Einstein dijo al *New York Times* que los resultados hasta el momento "no justificaban la suposición de la utilización práctica de la energía atómica liberada en el proceso...

Sin embargo, no hay un solo físico que deje que esto afecte su interés por un asunto tan importante". Irónicamente, ese mismo mes, Enrico Fermi y Frédéric Joliot-Curie (el yerno de Marie Curie) descubrieron que se pueden liberar dos neutrones con la división del átomo de uranio. Este era un resultado asombroso. Si estos dos neutrones pudieran dividir otros dos átomos de uranio, el resultado serían de cuatro neutrones, después ocho, después dieciséis, después treinta y dos, *ad infinitum,* hasta que la potencia inimaginable de la fuerza nuclear se liberara en una reacción en cadena. En una fracción de segundo, la división de un solo átomo de uranio podía disparar la división de trillones y trillones de otros átomos de uranio, liberando cantidades de energía nuclear jamás vistas. Fermi, mirando por su ventana de la Universidad de Columbia, meditó que una única bomba atómica podría destruir todo lo que podía ver de la ciudad de Nueva York.

La carrera había comenzado. Alarmado por la velocidad de los sucesos, Szilard estaba preocupado de que los alemanes, líderes en física atómica, fueran los primeros en desarrollar la bomba atómica. En 1939, Szilard y Eugene Wigner condujeron hasta Princeton para visitar a Einstein con la intención de que firmara una carta que se entregaría al presidente Roosevelt.

La carta decisiva, una de las más importantes de la historia mundial, comenzaba así: "Trabajos recientes llevados a cabo por E. Fermi y L. Szilard, que me han sido comunicados en manuscrito, me llevan a esperar que el elemento uranio se podrá convertir en una nueva e importante fuente de energía en el futuro inmediato". La carta observaba que Hitler había invadido Checoslovaquia y había sellado las minas de pecblenda de Bohemia, una rica fuente de mineral de uranio. La carta advertía que "una única bomba de este tipo, transportada por mar o detonada en un puerto, podría fácilmente destruir todo el puerto junto con los territorios colindantes. Sin embargo, es posible que estas bombas sean demasiado pesadas para transportarlas por aire". Alexander Sachs, un consejero de Roosevelt, recibió la carta para pasársela al

presidente. Cuando Sachs le preguntó al presidente si comprendía la extrema gravedad de su contenido, Roosevelt respondió: "Alex, lo que tienes que conseguir es que los nazis no nos hagan explotar". Se volvió hacia el general E. M. Watson y le dijo: "Esto requiere acción". Tan sólo seis mil dólares fueron aprobados para la investigación sobre uranio durante todo el año. Sin embargo, el interés por la bomba atómica creció enormemente cuando el informe secreto Frisch-Peierls llegó a Washington en otoño de 1941. Científicos británicos, trabajando de manera independiente, confirmaron todos los detalles descritos por Einstein, y el 6 de diciembre de 1941 se iniciaba el Proyecto de Ingeniería Manhattan.

Bajo la dirección de J. Robert Oppenheimer, que había trabajado sobre la teoría de agujeros negros de Einstein, centenares de los más ilustres científicos del mundo fueron contactados en secreto y enviados a Los Álamos, en el desierto de Nuevo México. En todas las grandes universidades, científicos como Hans Bethe, Enrico Fermi, Edward Teller y Eugene Wigner se marchaban silenciosamente tras recibir un golpecillo en el hombro. (No todos estaban contentos con el repentino interés por la bomba atómica. Lise Meitner, cuyo trabajo ayudó a iniciar el proyecto, rechazó firmemente formar parte de cualquier investigación sobre la bomba. Fue la única científica nuclear aliada que rechazó la propuesta de unirse al grupo de Los Álamos. ¡No tendré nada que ver con la bomba atómica!", afirmó. Años más tarde, cuando los guionistas de Hollywood intentaron embellecerla en la película *El principio del fin,* como una mujer que valientemente había escrito el anteproyecto de la bomba mientras huía de la Alemania nazi, ella contestó que "preferiría caminar desnuda por Broadway antes que formar parte de este proyecto").

Einstein era consciente de que todos sus colegas de Princeton estaban desapareciendo, dejando una misteriosa dirección de correo en Santa Fe, Nuevo México. Einstein, sin embargo, nunca recibió la llamada y pasó toda la guerra en Princeton. La razón de esto se ha sabido gracias a los documentos de guerra desclasificados. Vannevar Bush, el jefe de la Oficina de Investigación y Desarrollo Científico y asesor de

Roosevelt, escribió: “Desearía poder exponer todo esto ante él [Einstein]... pero es absolutamente imposible a la vista de la actitud de la gente de Washington que han estudiado toda su historia”. El FBI y la inteligencia militar concluyeron que no se podía confiar en Einstein: “A la vista de su pasado radical, esta agencia no recomienda el empleo del Dr. Einstein para asuntos de naturaleza secreta sin una escrupulosa investigación, ya que es difícil que un hombre con su pasado se convierta, en tan poco tiempo, en un leal ciudadano estadounidense”. Al parecer, el FBI no sabía que Einstein era plenamente consciente del proyecto y de hecho había contribuido a su puesta en marcha.

El expediente del FBI de Einstein, desclasificado recientemente, tiene 1,427 páginas. J. Edgar Hoover creía que Einstein era un espía comunista. La agencia cuidadosamente identificaba cualquier rumor sobre él y lo clasificaba. Curiosamente, el FBI cometió la negligencia de no interrogar a Einstein directamente, como si le tuvieran miedo. En su lugar, los agentes preferían interrogar y acosar a todo aquel que le rodeara. Como consecuencia, el FBI se convirtió en un receptor de centenares de cartas de todo tipo de trastornados y paranoicos. En particular, clasificaron informes que decían que Einstein estaba trabajando en algún tipo de rayo de la muerte. En mayo de 1943, un teniente de la marina llamó a Einstein preguntándole si estaría dispuesto a trabajar en armas y explosivos para la marina de Estados Unidos. “Se sentía muy mal por haber sido ignorado. Nadie le había pedido que trabajara para la guerra", escribió el teniente. Einstein, siempre con una broma a punto, dijo que ahora estaba en la marina sin haberse cortado el pelo.

El intenso esfuerzo aliado por construir la bomba atómica se veía estimulado por el miedo a la bomba alemana. En realidad, el proyecto alemán para la bomba tenía pocos empleados y pocos fondos. Werner Heisenberg, el mayor científico cuántico de Alemania, dirigía el grupo de científicos del proyecto alemán. En otoño de 1942, cuando los científicos alemanes se dieron cuenta de que tardarían por lo menos tres años más

de intenso esfuerzo para construir la bomba atómica, Albert Speer, el ministro de armamento nazi, decidió suspender temporalmente el proyecto. Speer cometió un error estratégico, suponiendo que Alemania ganaría la guerra en menos de tres años, haciendo que la bomba fuera innecesaria. No obstante, continuó financiando el desarrollo de submarinos nucleares.

Heisenberg se veía asediado por otros problemas. Hitler declaró que el desarrollo armamentístico tan sólo continuaría en armas que prometieran resultados en seis meses, una fecha límite imposible. Además de falta de fondos, los laboratorios alemanes estaban bajo el ataque de las fuerzas aliadas. En 1942, un comando consiguió volar por los aires la fábrica de agua pesada de Heisenberg en Vemork, Noruega. A diferencia de la decisión de Fermi de construir un reactor basado en carbono, los alemanes decidieron construir un reactor de agua pesada que pudiera usar uranio natural, que era abundante, en vez del extremadamente raro uranio-235. En 1943, los aliados golpearon Berlín con intensos bombardeos, forzando a Heisenberg a trasladar su laboratorio. El Instituto Kaiser Wilhelm fue evacuado a Hechingen, en las colinas al sur de Stuttgart. Heisenberg tenía que construir el reactor alemán en una bodega de piedra de Haigerloch. Bajo intensa presión y bombardeos, los alemanes jamás lograron mantener una reacción en cadena.

Mientras, los físicos del Proyecto Manhattan se daban prisa para procesar el suficiente plutonio y uranio para construir cuatro bombas atómicas. Estuvieron haciendo cálculos hasta el momento de la decisiva detonación en Alamogordo, Nuevo México. La primera bomba, construida con plutonio-239, fue detonada en julio de 1945. Después de la decisiva victoria de los aliados sobre los nazis, muchos físicos creyeron que la bomba sería innecesaria contra el último enemigo, Japón. Algunos creyeron que una bomba atómica de demostración se debería detonar en una isla desierta ante una delegación de altos cargos japoneses, para convencerles de que la rendición era inevitable. Otros llegaron a escribir un borrador de carta para pedir al presidente Truman que no lanzara

la bomba en Japón. Desgraciadamente, esta carta jamás llegó a su destino. Un científico, Joseph Rotblatt, dimitió del proyecto para la bomba atómica aduciendo que su trabajo allí se había acabado y que la bomba nunca debería ser utilizada contra los japoneses. (Más tarde ganaría el Premio Nobel de la Paz).

Sin embargo, se decidió lanzar no una, sino dos bombas atómicas sobre Japón en agosto de 1945. Einstein estaba de vacaciones en el Lago Saranac de Nueva York. Esa semana Helen Dukas oyó la noticia por la radio. Recuerda que el informativo "decía que un nuevo tipo de bomba había sido lanzada sobre Japón. Y sabía lo que era porque conocía el asunto de Szilard de una manera superficial... Cuando el profesor Einstein bajó a tomar un té se lo dije, y él exclamó, Oh, Weh [Oh, Dios mío]".

En 1946, Einstein salió en la portada de *Time.* Esta vez, y de forma siniestra, detrás de él se veía una explosión nuclear. El mundo se dio cuenta de repente de que la siguiente guerra, la Tercera Guerra Mundial, se lucharía con bombas atómicas. Pero, apuntó Einstein, como las bombas atómicas podrían hacer retroceder la civilización miles de años, la Cuarta Guerra Mundial se lucharía con palos y piedras. Ese año, Einstein se convirtió en presidente del Comité de Emergencia de Científicos Atómicos, tal vez la primera gran organización antinuclear, y lo utilizó como plataforma para oponerse a la construcción ininterrumpida de armas atómicas, y para abogar a favor de uno de sus sueños: el gobierno mundial.

Mientras tanto, en medio de la tormenta desatada por las bombas atómica y de hidrógeno, Einstein mantuvo su paz y salud volviendo tozudamente a su física. En la década de los cuarenta, todavía se abrían nuevos caminos en las áreas que él había ayudado a fundar, incluyendo la cosmología y la teoría unificada de campos. Este sería su último intento de "leer la mente de Dios".

Después de la guerra, Schrödinger y Einstein mantuvieron un intenso

intercambio de correspondencia transatlántica. Casi solos, estos dos padres de la teoría cuántica se resistieron a la marea de la mecánica cuántica y concentraron sus esfuerzos en la búsqueda de la unificación. En 1946 Schrödinger confesó a Einstein: “Vas detrás de una gran presa. Estás en una cacería de leones, mientras que yo hablo de conejos". Animado por Einstein, Schrödinger continuó la búsqueda de un tipo particular de teoría unificada de campos, llamada “teoría afín de campos”. Schrödinger completó pronto su propia teoría, y quedó convencido de que había logrado lo que Einstein aún no había conseguido, la unificación de la luz y la gravedad. Decía que esta teoría era un “milagro", un “regalo inesperado de Dios”.

Mientras trabajaba en Irlanda, Schrödinger, que era el administrador de una facultad y una sombra de lo que fue, se sentía aislado de la corriente principal de la física. Estaba convencido de que por su nueva teoría le otorgarían un segundo Premio Nobel. Apresuradamente convocó una gran conferencia de prensa. El primer ministro irlandés, Eamon de Valera, y muchos otros asistieron a su presentación. Cuando un periodista le preguntó cuán seguro estaba de la veracidad de su teoría, él contestó, “Creo que estoy en lo cierto. Haría un tremendo ridículo si me equivocara”. Sin embargo, Einstein se dio cuenta en seguida de que Schrödinger había perseguido una teoría que él mismo había descartado años atrás. Como escribió el físico Freeman Dyson, el camino que lleva a la teoría unificada de campos está repleto de los cadáveres de los intentos fallidos.

Sin inmutarse, Einstein continuó trabajando en la teoría unificada de campos, en gran medida aislado del resto de la comunidad científica. A falta de un principio físico que le guiara, su criterio Sería la búsqueda de la belleza y elegancia en sus ecuaciones. Como dijo el matemático G. H. Hardy, “Los diseños matemáticos, como los de los pintores o los poetas, deben ser bellos. Las ideas, como los colores o las palabras, deben encajar de manera armoniosa. La belleza es la primera prueba. No hay sitio permanente para las matemáticas feas”. Pero la falta de algo como el principio de equivalencia para la teoría unificada de campos le dejaba sin nada que le orientara. Se lamentaba de que

los demás físicos no vieran el mundo como él lo hacía, pero esto no le quitaba el sueño. “Me he convertido en un anciano solitario. Una especie de figura patriarcal que se conoce principalmente porque no lleva calcetines y se le muestra a menudo como una cosa rara. Pero en mi trabajo soy más fanático que nunca y realmente tengo la esperanza de poder resolver mis viejos problemas sobre la unidad del campo físico. Sin embargo, esto es como estar en un avión en el que puedes viajar entre las nubes pero no ves claramente cómo volver a la realidad, es decir, a tierra”, escribiría.

Einstein se dio cuenta de que trabajar sobre la unificación en vez de sobre la teoría cuántica, le estaba aislando de las principales ramas de investigación del instituto. “Debo parecer un avestruz que siempre esconde la cabeza en la arena relativista para no enfrentarse al malvado cuanto”. Con el paso del tiempo, otros físicos susurraban que estaba demasiado viejo y vivía en el pasado, pero esto no le molestaba. “En general, se me ve como un objeto petrificado, ciego y sordo por el paso de los años. No me desagrada particularmente este papel, ya que se adecúa bastante a mi temperamento”, escribió.

En 1949, en su setenta aniversario, se hizo una celebración especial en su honor en el instituto. Multitud de científicos fueron a alabar al mayor científico de su época y a aportar artículos para un libro en su honor. Sin embargo, del tono de algunos conferenciantes y de entrevistas en la prensa, podía deducirse que muchos le criticaban por su posición sobre la teoría cuántica. Los partidarios de Einstein estaban muy disgustados con esto, pero Einstein se lo tomaba con humor. Un amigo de la familia, Thomas Bucky, dijo que “Oppenheimer se burló de Einstein en un artículo en una revista con afirmaciones como, Es viejo. Ya nadie le hace caso”. Estábamos furiosos con él por eso. Pero Einstein no estaba enfadado en absoluto. Sencillamente no lo creyó y más tarde Oppenheimer negó haber dicho eso.

Esta era la manera de hacer de Einstein, tomarse a sus críticos a la ligera. Cuando se publicó el libro en su honor, escribió en broma: “Esto no es un libro de jubileo para mí, sino una moción de censura". Era un científico suficientemente experto como para saber lo difícil que resulta llegar a ideas genuinamente nuevas, y para reconocer que ya no las producía como en su juventud. “Tan sólo en la juventud se puede descubrir algo realmente nuevo. Después uno se vuelve más experto, más famoso y más estúpido”, escribió.

Lo que le mantenía en movimiento, sin embargo, eran las pistas que veía por todas partes de que la unificación era uno de los grandes planes del universo. “La Naturaleza tan sólo nos enseña la cola del león. Pero sin duda el león está ahí y es el propietario de la cola a pesar de que no pueda mostrarse todo a la vez por su enorme tamaño", escribiría. Cada día, al levantarse, se hacía una sencilla pregunta: ¿Si él fuera Dios, cómo crearía el universo? De hecho, dadas tocias las restricciones necesarias para crear un universo, se hacía otra pregunta: ¿Pudo Dios elegir algo? A medida que observaba el universo, todo lo que veía le demostraba que la unificación era el gran tema de la Naturaleza, que Dios no podía haber creado un universo en el que la gravedad, la electricidad y el magnetismo fueran entidades separadas. Lo que le faltaba, como bien sabía, era un principio que le guiara, una imagen física que iluminara el camino linda la teoría unificada de campos. Pero no apareció ninguna.

Con la relatividad especial, la imagen era un chico de dieciséis años corriendo tras un rayo de luz. Con la relatividad general, era un hombre cayendo de su silla, o canicas rodando por el espacio curvado. Sin embargo, con la teoría unificada de campos, no tenía nada que le guiara. Einstein era famoso por su afirmación, "Sutil es el Señor, pero maligno no es”. Después de luchar durante décadas con el problema de la unificación, le dijo a su ayudante: "He cambiado de opinión. Tal vez Dios es maligno".

A pesar de que la búsqueda de la unificación se consideraba uno de los problemas más complicados de la física, también era el más atractivo y sedujo a legiones de físicos. Es irónico, por ejemplo, que Wolfgang Pauli, uno de los más feroces críticos de la teoría unificada de campos, con el tiempo acabara por intentarlo él mismo. A finales de los cincuenta, tanto Heisenberg como Pauli estaban interesados en una versión de la teoría unificada de campos que, según ellos, podía resolver los problemas que habían frenado a Einstein durante treinta años. De hecho, según País, "desde 1954 hasta el final de su vida, Heisenberg se sumergió en diversos intentos de derivar toda la física de partículas a partir de una ecuación fundamental de ondas no lineal". En 1958, Pauli visitó la Universidad de Columbia para exponer la versión Heisenberg-Pauli de la teoría unificada de campos. Como se puede suponer, la audiencia era sumamente escéptica. Niels Bohr, que estaba entre el público, finalmente se levantó y dijo: "Los que estamos al fondo de la sala estamos convencidos de que vuestra teoría es disparatada. Pero estamos divididos sobre si es suficientemente disparatada o no".

El físico Jeremy Bernstein, también entre el público, apuntó: "Fue un extraño encuentro entre dos gigantes de la física moderna. No paré de preguntarme qué habría sacado de allí alguien que no fuera físico". Con el tiempo, Pauli se desilusionó con la teoría, creyendo que tenía demasiadas deficiencias. Cuando su colaborador insistió en seguir adelante con ella, Pauli le escribió una carta incluyendo una hoja en blanco y afirmando que si esa era realmente la teoría unificada de campos, esa hoja en blanco era una obra de Ticiano.

A pesar de que el progreso sobre la teoría unificada de campos era lento y doloroso, había multitud de avances que mantenían a Einstein ocupado. Uno de los más extraños eran las máquinas del tiempo.

Para Newton, el tiempo era como una flecha. Una vez disparado, volaba sin dudar en línea recta, sin desviarse jamás de su camino. Un segundo en la Tierra era un

segundo en el espacio exterior. El tiempo era absoluto y avanzaba uniformemente por todo el universo al mismo ritmo. Podían existir sucesos simultáneos por todo el universo. Sin embargo, Einstein introdujo el concepto de tiempo relativo, de manera que un segundo en la Tierra no era igual que un segundo en la Luna. El tiempo era como un río, serpenteando entre planetas y estrellas, ralentizándose cuando pasaba junto a cuerpos celestes. La pregunta que hizo el matemático Kurt Gödel fue, ¿puede el río del tiempo tener remolinos y volver hacia atrás? ¿O puede dividirse en dos ríos, creando un universo paralelo? Einstein se vio obligado a enfrentarse a estas preguntas cuando en 1949 Gödel, vecino de Einstein en el instituto y probablemente el mejor lógico matemático del siglo, demostró que las ecuaciones de Einstein permitían viajar en él tiempo. Gödel empezó con un universo lleno de gas y rotando. Si uno partiera en un cohete y diera la vuelta a todo el universo, ¡se podría llegar a la Tierra antes de haber salido! En otras palabras, viajar en el tiempo podría ser un fenómeno natural en el universo de Gödel, en el que uno viajaría atrás en el tiempo al dar la vuelta al universo.

Esto sorprendió a Einstein. Hasta entonces, cada vez que la gente resolvía sus ecuaciones, encontraba soluciones que concordaban con los datos experimentales. El perihelio de Mercurio, el corrimiento al rojo, la curvatura de la trayectoria de la luz, la gravedad de una estrella, todos concuerdan perfectamente con los resultados experimentales. Ahora sus ecuaciones daban soluciones que desafiaban todas nuestras creencias sobre el tiempo. Si viajar en el tiempo fuera posible con facilidad, entonces la historia mundial no se podría escribir jamás. El pasado, como arenas movedizas, se podría cambiar cada vez que alguien entrara en su máquina del tiempo. Lo que es peor, alguien podría destruir el propio universo al crear una paradoja temporal. ¿Qué pasaría si alguien viajara en el tiempo y asesinara a sus padres antes de que él o ella naciera? Esto era problemático, ya que ¿cómo podría haber nacido en primer lugar si antes había asesinado a sus padres?

Las máquinas del tiempo violaban la causalidad, uno de los principios más queridos de la física. Einstein estaba descontento con la teoría cuántica porque reemplazaba la causalidad con la probabilidad. ¡Ahora Gödel eliminaba la causalidad por completo! Después de mucha reflexión, Einstein rechazó la solución de Gödel argumentando que no concordaba con los datos experimentales: el universo se expandía, no rotaba, de manera que viajar en el tiempo, por el momento, no era una posibilidad. Pero el argumento de Gödel dejaba abierta la posibilidad de viajar en el tiempo si el universo rotara en vez de expandirse. Con todo, pasarían más de cinco décadas antes de que el concepto de viajar en el tiempo se convirtiera en una rama importante de investigación.

Los años cuarenta fueron una época turbulenta para la cosmología. George Gamow, que era el enlace de Einstein con la marina estadounidense durante la guerra, estaba menos interesado en la construcción de explosivos que en la mayor explosión de todas, el Big Bang. Gamow se hizo numerosas preguntas que trastornarían la cosmología. Llevó la teoría del Big Bang a su conclusión lógica. Especuló que si el universo realmente nació en una feroz explosión, entonces sería posible detectar los restos de calor de la bola de fuego primordial. Debería haber un "eco de la creación" del propio Big Bang. Utilizó el trabajo de Boltzmann y Planck, quienes demostraban que el color de un objeto caliente debe relacionarse con su temperatura ya que ambos son diferentes formas de energía. Por ejemplo, si un objeto emite radiación roja, significa que está aproximadamente a 3,000 grados Celsius. Si un objeto emite radiación amarilla (como nuestro Sol) significa que está a unos 6,000 grados Celsius (que es la temperatura superficial del Sol). De manera similar, nuestros cuerpos están calientes, de manera que podemos calcular su "color", que está al nivel de la radiación infrarroja. (Las gafas de visión nocturna son eficaces porque son capaces de captar la radiación infrarroja que emiten nuestros cuerpos). Argumentando que el Big Bang sucedió miles de millones de años atrás, dos miembros del equipo de Gamow, Robert Herman y Ralph Alpher, calcularon ya en 1948 que la radiación remanente del Big Bang debería estar a 5 grados

por encima del cero absoluto, sorprendentemente cerca del valor correcto. Esta radiación corresponde a radiación microondas. Por lo tanto, el “color de la creación” es la radiación microondas. (Esta radiación microondas, que se encontró décadas más tarde y se calculó que correspondía a 2,7 grados sobre el cero absoluto, revolucionaría el campo de la cosmología.)

A pesar de que estaba relativamente aislado en Princeton, Einstein vivía para ver cómo su teoría de la relatividad general abría nuevas y ricas ramas de investigación en la cosmología, los agujeros negros, las ondas gravitacionales y otras áreas. Sin embargo, los últimos años de su vida también estarían llenos de penas. En 1948 recibió una carta diciendo que Mileva, después de una larga y dura vida al cuidado de su hijo enfermo, había muerto, al parecer de un ataque durante uno de los berrinches de Eduard. (Más tarde, 85,000 francos fueron encontrados bajo su colchón, al parecer la última paga de sus apartamentos en Zúrich. Se utilizó este dinero para pagar el cuidado de Eduard.) En 1951 falleció su querida hermana Maja.

En 1952, Chaim Weizmann, el hombre que había organizado la triunfante gira de Einstein por Estados Unidos en 1921, murió después de haber sido presidente de Israel. Inesperadamente, el primer ministro israelí, David Ben-Gurion, ofreció a Einstein la presidencia de Israel. A pesar de considerarla un gran honor, tuvo que rechazarla.

En 1955 Einstein recibió la noticia de que Michele Besso, qué había ayudado a Einstein a refinar sus ideas sobre la relatividad, había muerto. En una carta al hijo de Besso, Einstein escribió emotivamente: “Lo que más admiraba de Michele era el hecho de que fuera capaz de vivir tantos años con la misma mujer, no sólo en paz sino en constante unidad, algo en lo que yo he fallado estrepitosamente dos veces... De manera que al dejar este extraño mundo también se me ha avanzado un poco. Esto no quiere decir nada. Para aquellos que creemos en la física, esta separación entre el pasado, el presente y el futuro no es más que una ilusión, por muy tenaz que sea".

Ese mismo año, con su salud debilitándose, escribió: “Es de mal gusto prolongar la vida artificialmente. Yo he hecho mi parte; ha llegado la hora de marcharse. Lo haré elegantemente”. Einstein falleció finalmente el 18 de abril de 1955, de un aneurisma que acabó por explotar. El dibujante Herblock publicó una emotiva viñeta en el *Washington Post* en la que se veía la Tierra, vista desde el espacio exterior, con un gran cartel que rezaba, “Albert Einstein vivió aquí”. Esa noche, periódicos del mundo entero enviaron a través del servicio de cable una fotografía de la mesa de Einstein. Sobre ésta reposaba el manuscrito de su mayor teoría incompleta, la teoría unificada de campos

EL PROFÉTICO LEGADO DE EINSTEIN

La mayoría de los numerosos biógrafos de Einstein soslayan los últimos treinta años de su vida por considerarlos casi una vergüenza impropia de un genio, una mancha en su hasta entonces impecable historia. Sin embargo, los descubrimientos científicos de las últimas décadas nos han aportado una visión completamente nueva del legado de Einstein. Su trabajo fue tan fundamental y tan decisivo para los mismos cimientos del conocimiento humano que su impacto continúa reverberando por toda la física. Muchas de las semillas que plantó Einstein están germinando en el siglo XXI, principalmente gracias a instrumentos como los telescopios espaciales, observatorios espaciales de Rayos X, y láseres suficientemente potentes y sensibles como para verificar muchas de sus predicciones hechas décadas atrás.

De hecho, las migas que han caído del plato de Einstein están otorgando premios Nobel a otros científicos. Además, con la ascensión de la teoría de las supercuerdas, el concepto de Einstein de la unificación de las fuerzas, antaño sujeto de mofas y comentarios denigratorios, está asumiendo un papel protagonista en el mundo de la filien teórica. Este capítulo trata sobre los nuevos descubrimientos en áreas en las que el legado perdurable de Einstein continúa dominando el mundo de la física: la teoría cuántica, la relatividad general y la cosmología, y la teoría unificada de campos.

Cuando Einstein escribió su artículo sobre la condensación Bose- Einstein en 1924, no creía que este curioso fenómeno fuera a descubrirse en ningún momento próximo. Se debería enfriar un material hasta casi el cero absoluto para que todos los estados cuánticos colapsaran y crearan un superátomo gigante.

En 1995, Eric A. Cornell del National Institute of Standards and Technology y Cari E. Weiman de la Universidad de Colorado hicieron exactamente eso: producir un condensado Bose-Einstein puro de 2.000 átomos de rubidio a veinte milmillonésimas de

grado por encima del cero absoluto. Además, Wolfgang Ketterle del MIT produjo de manera, independiente condensados Bose-Einstein con suficientes átomos de sodio para poder hacer experimentos importantes con ellos, como demostrar que estos átomos mostraban patrones de interferencia que concordaban con átomos que estuvieran coordinados entre sí. En otras palabras, actuaban como un superátomo tal y como predijo Einstein más de setenta años antes.

. Desde el anuncio inicial, los descubrimientos en esta área han sucedido rápidamente. En 1997, Ketterle y sus colegas del MIT crearon el primer "láser de átomos" usando condensados Bose-Einstein. Lo que da a la luz láser sus maravillosas propiedades es el hecho de que los fotones avanzan al unísono y coordinados entre sí, mientras que la luz ordinaria es caótica e incoherente. Dado que la materia también tiene propiedades ondulatorias, los físicos especularon sobre la posibilidad de que los rayos de átomos funcionaran como un láser, pero la falta de condensados Bose-Einstein imposibilitaba este avance. Ketterle y sus colaboradores consiguieron este hito enfriando un grupo de átomos hasta su condensación. Entonces golpearon el condensado con un rayo láser, que a su vez convirtió los átomos en un rayo sincronizado.

En 2001, Cornell, Weiman y Ketterle recibieron el Premio Nobel. El comité del Premio Nobel los eligió "por la consecución de la condensación Bose-Einstein de átomos alcalinos, y por el estudio fundamental de las propiedades de los condensados". Ahora se están empezando a entender las aplicaciones prácticas de los condensa- dos Bose-Einstein. Estos rayos de láser atómicos podrían ser útiles en el futuro cuando se apliquen a la nanotecnología. Podrían permitir la manipulación individual de los átomos y la creación de capas de átomos para los semiconductores de los ordenadores del futuro.

Además, de los láser atómicos, algunos físicos han aventurado que los ordenadores cuánticos (ordenadores que computan sobre átomos individuales) podrían basarse en condensados Bose-Einstein, que con el tiempo sustituirían a los ordenadores

basados en silicio. Otros han especulado que la materia oscura, en parte, podría estar formada por condensados Bose-Einstein. De ser así, la mayor parte de la materia del universo podría estar en este extraño estado.

Las contribuciones de Einstein también han obligado a los físicos cuánticos a replantear su devoción por la interpretación original de la teoría hecha por la escuela de Copenhague. En los años treinta y cuarenta, cuando los físicos cuánticos se reían a espaldas de Einstein, era fácil ignorar a este gigante de la física porque se hacían descubrimientos en el campo de la mecánica cuántica casi a diario. ¿Quién tenía tiempo para pensar sobre los cimientos de la teoría cuántica cuando los físicos podían recoger premios Nobel como manzanas de un árbol? Centenares de cálculos sobre las propiedades de los metales, semiconductores, líquidos, cristales, y otros materiales podían ser llevados a cabo y cada uno de ellos podía crear industrias completamente nuevas. Sencillamente no había tiempo que malgastar. Como consecuencia, los físicos se acostumbraron durante décadas a la escuela de Copenhague, barriendo las profundas preguntas filosóficas sin contestar debajo de la alfombra. Los debates Bohr-Einstein fueron olvidados. Sin embargo, ahora que muchas de las preguntas "fáciles" sobre la materia han sido contestadas, las preguntas mucho más difíciles formuladas por Einstein permanecen sin contestar. En particular, multitud de congresos internacionales se están llevando a cabo alrededor del mundo a medida que los físicos reexaminan el problema del gato mencionado en el capítulo 7. Ahora que los experimentalistas pueden manipular átomos individuales, el problema del gato ya no es tan sólo una cuestión académica. De hecho, el destino de la tecnología de computadores, que representa un gran porcentaje de la riqueza mundial, puede depender de su resolución en la medida en que los ordenadores del futuro usen transistores hechos de átomos individuales.

Entre todas las opciones, la respuesta al problema del gato de la escuela de Copenhague de Bohr está ahora considerada como la menos atractiva, a pesar de que no hay ninguna desviación experimental de la interpretación original de Bohr. La escuela

de Copenhague postula que existe una “pared” que separa el sentido común, el mundo macroscópico de los árboles, las montañas y la gente que vemos a nuestro alrededor, del misterioso y contraintuitivo mundo microscópico del cuanto y las ondas. En el mundo microscópico, las partículas subatómicas existen en un estado inferior, entre la existencia y la inexistencia. Sin embargo, nosotros vivimos al otro lado de la pared, donde todas las funciones de ondas han colapsado, de manera que nuestro universo macroscópico parece determinado y bien definido. En otras palabras, hay una pared que separa el observador de lo observado.

Algunos físicos, incluido el premio Nobel Eugene Wigner, fueron más allá. El elemento clave de la observación, señaló, es la conciencia. Hace falta un observador consciente para hacer una observación y determinar la realidad del gato. ¿Pero quién observa al observador? El observador debe tener otro observador (llamado “el amigo de Wigner”) que determine que el observador está vivo. Pero esto implica una cadena infinita de observadores, cada uno observando al anterior, cada uno determinando que el anterior está vivo. Para Wigner, esto significaba que tal vez existía una conciencia cósmica que determinaba el estado del propio universo. En sus palabras, “El propio estudio del mundo exterior condujo a la conclusión de que el contenido de la conciencia es la realidad final”. Algunos han argumentado que esto demuestra la existencia de Dios, algún tipo de conciencia cósmica, o que el propio universo es de alguna manera consciente. Como Planck dijo, “la ciencia no puede resolver el misterio definitivo de la Naturaleza. Y es porque en el análisis final nosotros mismos somos parte del misterio que intentamos resolver”.

A lo largo de las décadas se han propuesto otras interpretaciones. En 1957, Hugh Everett, entonces estudiante graduado del físico John Wheeler, propuso la que tal vez es la solución más radical del problema del gato, la teoría de “múltiples mundos”, afirmando que todos los universos posibles existen simultáneamente. El gato podría estar vivo y muerto simultáneamente, porque el propio universo se ha separado en dos

universos. Las implicaciones de esta idea son bastante inquietantes, porque quiere decir que el universo se está bifurcando constantemente en cada instante cuántico, resultando en un número infinito de universos cuánticos. El propio Wheeler, en un principio entusiasta del enfoque de su alumno, abandonó la idea más tarde afirmando que comportaba demasiado “bagaje metafísico". Por ejemplo, imaginemos un rayo cósmico que penetra en el útero de la madre de Winston Churchill, provocando un aborto. Un suceso cuántico nos separaría, pues, de un universo en el que Churchill jamás vivió para unir al pueblo inglés y al mundo contra las fuerzas asesinas de Adolf Hitler. En aquel universo paralelo, tal vez los nazis ganaron la Segunda Guerra Mundial y esclavizaron a la mayoría del mundo. O imaginemos un mundo en el que el viento solar, iniciado por un suceso cuántico, empujara a un cometa o meteoro fuera de su trayectoria hace 65 millones de años, de manera que jamás impactara en la Península del Yucatán en México eliminando a los dinosaurios. En ese universo paralelo, los humanos jamás hubieran aparecido y Manhattan, donde ahora vivo, estaría poblado por dinosaurios desbocados.

La mente enloquece al contemplar todos los posibles universos. Después de décadas de fútiles discusiones sobre diversas interpretaciones de la teoría cuántica, en 1965John Bell, un físico del laboratorio nuclear del CERN en Ginebra, Suiza, analizó un experimento que debía demostrar o refutar definitivamente la crítica de Einstein a la teoría cuántica. Esta sería la prueba de fuego. Bell estaba bien dispuesto hacia las profundas preguntas filosóficas planteadas por Einstein décadas antes y propuso un teorema que resolvería la cuestión definitivamente. (El teorema de Bell se basa en reexaminar una variación del antiguo experimento EPR y analizar la correlación entre dos partículas moviéndose en direcciones opuestas.) El primer experimento creíble fue llevado a cabo por Alain Aspect en 1983 en la Universidad de París, y los resultados confirmaron el enfoque de la mecánica cuántica. Einstein se había equivocado en su crítica de la teoría cuántica.

Pero si la crítica de Einstein a la teoría cuántica podía ser descartada,

¿entonces cuál de las diversas escuelas de mecánica cuántica era la correcta? Hoy la mayoría de físicos creen que la escuela de Copenhague es lamentablemente incompleta. La pared de Bohr que separa el mundo microscópico del macroscópico no parece válida en la actualidad dada nuestra capacidad de manipulación de átomos individuales. Los “microscopios de efecto túnel” pueden desplazar átomos individuales y han sido utilizados para deletrear “IBM” y crear un ábaco funcional hecho de átomos. Además, todo un nuevo campo tecnológico, llamado “nanotecnología”, se ha creado basado en la manipulación de los átomos. Experimentos como el experimento del gato de Schrödinger se pueden llevar a cabo sobre átomos individuales.

A pesar de esto, todavía no hay una solución del problema del gato que sea satisfactoria para todos los físicos. Casi ochenta años después del enfrentamiento entre Bohr y Einstein en el Congreso Solvay, sin embargo, algunos físicos punteros, incluyendo varios premios Nobel, han coincidido en la idea de “incoherencia” para resolver el problema del gato. La incoherencia comienza con el hecho de que la función de ondas del gato es bastante complicada porque contiene algo del orden de 1.025 átomos, un número verdaderamente astronómico. Por tanto, la interferencia entre la onda del gato vivo y la onda del gato muerto es bastante intensa. Esto quiere decir que las dos funciones pueden coexistir simultáneamente en el mismo espacio pero no se pueden influenciar mutuamente. Las dos funciones de onda se han “descoordinado” y ya no notan mutuamente su presencia. En una versión de la incoherencia, las funciones de ondas nunca “colapsan”, como afirmaba Bohr. Sencillamente se separan y, en realidad, nunca interactúan de nuevo.

El premio Nobel Steven Weinberg compara este fenómeno con la acción de escuchar la radio. Girando el dial, podemos sintonizar sucesivamente muchas emisoras de radio. Cada frecuencia es incoherente con las demás, de manera que no hay interferencias entre emisoras. Nuestra habitación está simultáneamente llena de las señales de múltiples emisoras de radio, cada una ofreciendo un mundo entero de

información, pero no interactúan entre ellas. Y nuestra radio sintoniza sólo una vez.

La incoherencia parece atractiva porque implica que se puede utilizar la teoría de ondas habitual para resolver el problema del gato sin tener que acudir al "colapso" de la función de ondas. En esta imagen, las ondas nunca colapsan. Sin embargo, las conclusiones lógicas son perturbadoras. En el análisis final, la incoherencia implica una interpretación de "múltiples mundos". Pero en vez de emisoras de radio que no interfieren entre sí, ahora tenemos universos enteros que no interactúan. Puede parecer extraño, pero esto quiere decir que en la misma habitación en la que estás leyendo este libro existe la función de ondas de mundos paralelos en los que los nazis ganaron la Segunda Guerra Mundial, la gente habla idiomas extraños, criaturas alienígenas caminan sobre la superficie de la Tierra, dinosaurios luchan en tu sala de estar, o en los que la Tierra jamás existió. Nuestra "radio" está sintonizada sólo al mundo familiar en el que vivimos, pero en esta misma habitación existen otras "emisoras de radio" en las que extraños y alucinantes mundos coexisten con el nuestro. No podemos interactuar con estos dinosaurios, monstruos y alienígenas que caminan por nuestra casa porque vivimos en una frecuencia de "radio" diferente y somos incoherentes con ellos. Como dijo el premio Nobel Richard Feynmann, "creo que puedo decir con seguridad que nadie entiende la mecánica cuántica".

Aunque la crítica de Einstein a la mecánica cuántica puede no haber aportado una solución plenamente satisfactoria de sus paradojas, sus ideas han ayudado a mejorar su desarrollo y han sido justificadas en otras áreas, sobre todo en la relatividad general. En un mundo de relojes atómicos, láseres y supercomputadoras, los científicos están llevando a cabo el tipo de pruebas de alta precisión de la relatividad general sobre las que Einstein tan sólo podía soñar. En 1959, por ejemplo, Robert V. Pound y G. A. Rebka de Harvard finalmente confirmaron la predicción de Einstein del corrimiento al rojo gravitacional; es decir, que los relojes avanzan a un ritmo diferente cuando están en un campo gravitatorio. Utilizando cobalto radiactivo dispararon radiación desde el sótano del

Laboratorio Lyman de Harvard hacia el tejado, 22 metros por encima. Con un Instrumento de medición extremadamente preciso (que usaba el efecto Mossbauer), demostraron que los fotones perdían energía (y por tanto veían reducida su frecuencia) a medida que hacían el viaje hacia el tejado del laboratorio. En 1977, el astrónomo Jesse Greenstein y sus colegas analizaron el paso del tiempo en una docena de estrellas enanas blancas. Como se esperaba, confirmaron que el tiempo se ralentiza en campos gravitatorios fuertes.

El experimento del eclipse solar también se ha repetido con extrema precisión numerosas veces. En 1970, los astrónomos indicaron con toda precisión la posición de dos cuásares extremadamente distantes, 3C 279 y 3C 273. La luz de estos cuásares se desviaba como predecía la teoría de Einstein.

La introducción de los relojes atómicos también ha revolucionado la forma en que se pueden llevar a cabo los experimentos de alta precisión. En 1971 se colocaron relojes atómicos sobre aviones a reacción que volaron tanto de Este a Oeste como de Oeste a Este. Estos relojes atómicos, a su vez, fueron comparados con relojes atómicos estacionarios en el Observatorio Naval en Washington, D. C. Analizando los relojes atómicos que viraban sobre aviones que se trasladaban a diferentes velocidades (pero altitud constante), los científicos pudieron verificar la relatividad especial; y analizando los relojes que viajaban sobre aviones a la misma velocidad pero a diferente altitud, pudieron verificar la predicción de la relatividad general. En ambas ocasiones, los resultados verificaron las predicciones de Einstein dentro del margen del error experimental.

El lanzamiento de satélites espaciales también ha revolucionado la forma en que se puede poner a prueba la relatividad general. El satélite Hiparco, lanzado por la Agencia Espacial Europea en 1989, calculó durante cuatro años la desviación de la luz de las estrellas provocada por el Sol, llegando a analizar estrellas 1.500 veces más

débiles que las de la Osa Mayor. En el espacio exterior no es necesario esperar a que suceda un eclipse, y los experimentos se pueden llevar a cabo todo el tiempo. En todos los casos se descubrió que la trayectoria de la luz se doblaba se acuerdo con la predicción de Einstein. De hecho, se descubrió que la trayectoria de la luz de las estrellas de todo un hemisferio del cielo está curvada por el Sol.

En el siglo XXI se han planeado multitud de experimentos de alta precisión para comprobar la verosimilitud de la relatividad general, incluyendo más experimentos sobre estrellas dobles y hasta haciendo rebotar un rayo láser sobre la superficie de la Luna. Pero los experimentos más interesantes son los relacionados con las ondas gravitacionales. Einstein las predijo en 1916. Sin embargo, dudaba de que pudiera vivir para ver la confirmación de este escurridizo fenómeno. El equipo experimental de principios del siglo XX era sencillamente demasiado primitivo. Pero en 1993, el Premio Nobel fue otorgado a dos físicos, Russell Hulse y Joseph Taylor, por verificar indirectamente la existencia de las ondas gravitacionales al examinar estrellas dobles.

Examinaron PSR1913+16, una estrella doble de neutrones a unos 16.000 años luz de la Tierra, en la que dos estrellas muertas se orbitan mutuamente cada siete horas y cuarenta y cinco minutos, liberando gran cantidad de ondas gravitacionales en su estela. Imaginemos, por ejemplo, que removemos un tarro de miel con dos cucharas, cada una rotando alrededor de la otra. A medida que cada cuchara se mueve entre la miel, deja un rastro de miel en su estela. De manera similar, si reemplazamos la miel por el tejido del espacio-tiempo y las cucharas por estrellas muertas, tenemos dos estrellas persiguiéndose mutuamente en el espacio, emitiendo ondas de gravedad. Como estas ondas transportan energía, las dos estrellas pierden energía con el tiempo y se acercan entre ellas gradualmente. Analizando la señal de este sistema doble, se puede calcular experimentalmente el decaimiento exacto de la órbita de las estrellas. Como se esperaba de la teoría de la relatividad de Einstein, las dos estrellas se acercan un milímetro después de cada revolución. A lo largo de un año, la separación de las estrellas se reduce

en algo más de un metro en una órbita que tiene 700.000 kilómetros de diámetro, que es exactamente el valor que se puede calcular a partir de las ecuaciones de Einstein. De hecho, las dos estrellas chocarán dentro de 240 millones de años a causa de la pérdida de energía a través de las ondas gravitacionales. Esta precisión experimental es una forma de comprobar la precisión de la relatividad general de Einstein. "Los números son tan exactos que se puede concluir que la relatividad general es precisa en un 99,7% (claramente dentro del margen del error experimental).

Más recientemente, ha habido un fuerte interés en una serie de experimentos de largo alcance que pretenden observar directamente las ondas gravitacionales. El proyecto LIGO (Observatorio de Ondas Gravitacionales por Interferometría Láser) se puede convertir pronto en el primero en observar las ondas gravitacionales directamente, tal vez de agujeros negros colisionando en el espacio. LIGO es el sueño de un físico hecho realidad, el primer aparato cuya potencia le hace capaz de medir las ondas gravitacionales. LIGO consiste en tres complejos de láseres en Estados Unidos (dos en Hanford, Washington, y uno en Livingston, Luisiana). Forma parte de un consorcio internacional, que incluye el detector franco-italiano llamado VIRGO en Pisa, Italia; un detector japonés llamado TAMA en las afueras de Tokio; y un detector germano-británico llamado GE0600 en Hanover, Alemania. El coste final de construcción de LIGO será de 292 millones de dólares (además de 80 millones destinados a encargos externos y mejoras posteriores), lo que lo convierte en el proyecto más caro financiado por la Fundación Nacional de Ciencia de Estados Unidos.

Los detectores de láser del LIGO se parecen mucho al aparato usado por Michelson-Morley a principios de siglo para detectar el viento de éter, excepto que se utilizan rayos láser en vez de rayos de luz ordinaria. Un rayo láser se divide en dos rayos diferentes que viajan perpendicularmente entre sí. Después de rebotar en un espejo, los rayos se juntan. Si una onda gravitacional impactase sobre el interferómetro, habría una perturbación de las longitudes de las trayectorias de los rayos láser, que se observaría

como un patrón de interferencia entre los dos rayos. Para estar seguros de que la señal que impacta el aparato láser no es falsa, es necesario que se distribuyan detectores láser por todo el planeta. Tan sólo una onda mayor que la Tierra sería capaz de disparar todos los detectores a la vez.

Con el tiempo, una serie de estos detectores láser serán colocados en el espacio exterior por la NASA y la Agencia Espacial Europea. Alrededor de 2010, la NASA lanzará tres satélites llamados LISA (Antena Espacial de Interferometría Láser). Orbitarán alrededor del Sol a aproximadamente la misma distancia que la órbita de la Tierra. Los tres detectores láser formarán un triángulo equilátero en el espacio exterior (de unos 5 millones de kilómetros de lado). El sistema será tan sensible que será capaz de detectar vibraciones de una parte en mil millones de billones (correspondiente a un desplazamiento de una centésima parte del tamaño de un átomo), permitiendo a los científicos detectar los frentes de onda originales del propio Big Bang. Si todo marcha bien, LISA debería poder observar hasta la primera billonésima de segundo después del Big Bang, convirtiéndose en la herramienta cosmológica más potente para explorar la creación. Esto es esencial, porque se cree que LISA podría ser capaz de encontrar los primeros datos experimentales sobre la naturaleza exacta de la teoría unificada de campos, la teoría del todo.

Otra herramienta importante introducida por Einstein son las lentes gravitacionales. En 1936 demostró que las galaxias cercanas pueden actuar como lentes gigantes que enfocan la luz de objetos lejanos. El primer avance tuvo lugar en 1979, cuando un grupo de astrónomos observó el cuásar Q0957+561 y descubrió que el espacio estaba curvado y actuaba como una lente concentrando la luz.

En 1988, se hizo la primera observación de un anillo de Einstein en la fuente radio MG1131+0456, y desde entonces se han observado aproximadamente veinte, la mayoría fragmentos de anillos. En 1997 se observaron los primeros anillos de Einstein

completamente circulares con el Telescopio Espacial Hubble y el complejo de radiotelescopios británico MERLIN (Red Interconectada de Interferómetros Radio de Múltiples Elementos). Analizando la galaxia 1938+666, descubrieron el característico anillo que rodeaba la galaxia. "Al principio parecía artificial y creímos que se trataba de un defecto en la imagen, ¡pero entonces nos dimos cuenta de que estábamos observando un anillo de Einstein perfecto!", cuenta el Dr. Ian Brown de la Universidad de Manchester. Los astrónomos británicos estaban, encantados con el descubrimiento: "¡Es un ojo de buey!", exclamaron. El anillo es minúsculo. Tan sólo tiene un segundo de arco de diámetro, aproximadamente el tamaño de un céntimo de euro visto desde una distancia de tres kilómetros. Sin embargo constituye una verificación de la predicción que Einstein hizo décadas atrás.

Una de las áreas más importantes para la relatividad general ha sido la de la cosmología. En 1965, dos físicos, Robert Wilson y Arno Pezias, detectaron la débil radiación de microondas del espacio exterior con el radiotelescopio del Laboratorio Bell en Nueva Jersey. Los dos físicos, que desconocían el trabajo puntero de Gamow y sus alumnos, detectaron accidentalmente la radiación cósmica del Big Bang sin darse cuenta. (Según la leyenda, pensaron que estaban captando interferencias provenientes de las heces de pájaros que anidaban en su radiotelescopio. Más tarde, el físico de Princeton R. H. Dicke identificó correctamente esta radiación como la radiación de microondas de fondo de Gamow.) Penzias y Wilson recibieron el Premio Nobel por su trabajo. Desde entonces, el satélite COBE (Explorador de Fondo Cósmico), puesto en órbita en 1989, nos ha dado la imagen más detallada hasta el momento de esta radiación de fondo, que es sorprendentemente suave. Cuando los físicos liderados por-George Smoot de la Universidad de California en Berkeley analizaron cuidadosamente los pequeños rizos de este uniforme fondo, fueron capaces de producir una impresionante fotografía de la radiación de fondo de cuando el universo tan sólo tenía 400.000 años de edad. Los medios de comunicación bautizaron erróneamente esta imagen como "la cara de Dios". (Esta fotografía no es la cara de Dios, sino una "fotografía del bebé", del Big Bang.)

Lo más interesante de esta imagen es que las irregularidades probablemente corresponden a minúsculas fluctuaciones cuánticas en el Big Bang. Según el principio de incertidumbre, el Big Bang no pudo ser una explosión perfectamente uniforme, ya que los efectos cuánticos deben haber producido irregularidades de un cierto tamaño. Esto era exactamente lo que encontró el grupo de Berkeley (De hecho, si no hubieran encontrado estas irregularidades hubiera sido un tremendo revés para el principio de incertidumbre). Estas irregularidades confirmaban que el principio de incertidumbre era aplicable al nacimiento del universo, y proporcionaban a los científicos un mecanismo adecuado para explicar la creación de nuestro "universo grumoso". Al mirar a nuestro alrededor vemos galaxias agrupadas en cúmulos; es decir, un universo de textura rugosa. Esta grumosidad se puede explicar fácilmente como las irregularidades del Big Bang original, que se han dilatado con la expansión del universo. En conclusión, cuando vemos los cúmulos de galaxias en el espacio, podemos estar asomándonos a las irregularidades originales del Big Bang provocadas por el principio de incertidumbre.

Pero tal vez el redescubrimiento más espectacular del trabajo de Einstein tiene que ver con la "energía oscura". Como vimos antes, Einstein introdujo en 1917 la constante cosmológica (o energía del vacío) para evitar que el universo se expandiera. (Recordemos que tan sólo hay dos términos posibles según la covariancia general, la curvatura de Ricci y el volumen del espacio-tiempo, de manera que no se podía evitar la constante cosmológica con facilidad.) Cuando Hubble le mostró que el universo está en expansión, Einstein reconoció que esta constante era el mayor error de su vida. Sin embargo, nueva información disponible en 2001 revela que probablemente Einstein estuviera después de todo en lo cierto: la constante cosmológica no sólo existe, sino que la energía oscura probablemente constituye la mayor fuente de materia/energía del universo entero. Analizando supemovas de galaxias lejanas, los astrónomos han podido calcular el ritmo de expansión del universo a lo largo de miles de millones de años. Para su sorpresa, la conclusión a la que han llegado es que la expansión del universo, en vez de estar ralentizándose como la mayoría pensaba, está de hecho acelerándose, Nuestro

universo está en una expansión desbocada que seguirá de forma indefinida. Ahora sí podemos predecir cómo morirá nuestro universo.

Antes, algunos cosmólogos creían que podría haber suficiente materia en el universo para invertir la expansión cósmica, y que con el tiempo el universo se contraería y se vería un corrimiento al azul del espectro de los objetos del espacio exterior. (El físico Stephen Hawking llegó a creer que incluso el tiempo podía invertirse a medida que el universo se contraía y que la historia podría repetirse hacia atrás. La gente rejuvenecería hasta acabar en el útero de sus madres; los nadadores emergerían desde la piscina para aterrizar completamente secos sobre el trampolín; y los huevos saltarían desde la sartén donde se estuvieran friendo hasta sus cáscaras intactas. Hawking admitiría después que había cometido un error.) Con el tiempo, el universo implosionaría sobre sí mismo, creando el infernal calor de un "big crunch". Otros han llegado a especular que el universo podría entonces sufrir otro Big Bang, creando así un universo oscilante.

Todo esto, sin embargo, ha sido descartado por el resultado experimental que muestra la aceleración del proceso de expansión del universo. La explicación más sencilla que parece concordar con los datos es suponer que hay una enorme cantidad de energía oscura en el universo que actúa como antigravedad, separando las galaxias. Cuanto mayor es el universo, más energía del vacío hay, y todavía más lejos son empujadas las galaxias: ésta es la esencia de un universo acelerado.

Esta explicación parece confirmar una versión de la idea de "universo inflacionario" propuesta por primera vez por el físico del MIT Alan Guth, que es una modificación de la teoría original del Big Bang de Friedmann y Lemaitre. A grandes rasgos, en la visión inflacionaria hay dos fases del proceso de expansión. La primera es una expansión rápida y exponencial, cuando el universo estaba dominado por una constante cosmológica muy alta. Con el tiempo, esta inflación exponencial termina y la expansión se ralentiza hasta parecerse al universo en expansión convencional expuesto

por Friedmann y Lemaitre. Si Guth está en lo cierto, el universo visible a nuestro alrededor es tan sólo una cabeza de aguja en un tejido espacio- tiempo mucho mayor, que es el que representa el verdadero universo. Experimentos recientes con globos estratosféricos han proporcionado evidencia creíble de la inflación del universo al demostrar que éste parece ser aproximadamente plano, lo que indica cuán grande es en realidad. Nuestra situación es como la de una hormiga sentada sobre un globo inmenso, que debido a su minúsculo tamaño cree que todo lo que le rodea es plano.

La energía oscura también nos obliga a reconsiderar nuestro papel y situación en el universo. Copérnico demostró que no hay nada especial en la posición de los humanos en el sistema solar. La existencia de la materia oscura demuestra que no hay nada especial en los átomos que forman nuestro mundo, ya que el 90% de la materia del universo está hecha de esta misteriosa materia oscura. Ahora el resultado proveniente de la constante cosmológica nos muestra que la cantidad de energía oscura es mucho mayor que la de materia oscura, que a su vez es mucho mayor que la cantidad de energía de las estrellas y las galaxias presentes en todo el universo. La constante cosmológica, introducida a regañadientes por Einstein para estabilizar el universo, es probablemente, con diferencia, la mayor fuente de energía del universo. (En el año 2003, el satélite WMAP verificó que el 4%de la materia y energía del universo se encontraba en átomos ordinarios, el 23%en alguna forma de materia oscura desconocida y el 73% restante en forma de energía oscura).

Otra predicción sorprendente de la relatividad general es el concepto de agujero negro, que fue considerado ciencia ficción cuando Schwarzschild reintrodujo el concepto de estrellas oscuras en el año 1916. Sin embargo, el Telescopio Espacial Hubble y el Very Large Array Radio Telescope han verificado la existencia de más de cincuenta agujeros negros, la mayoría escondidos en el centro de galaxias grandes. Muchos astrónomos creen que tal vez la mitad de los trillones de galaxias del universo tienen agujeros negros en su centro.

Einstein era consciente de la dificultad de detectar estas criaturas exóticas: por definición, son invisibles dado que la propia luz no puede escapar, y por tanto extremadamente difíciles de observar en la Naturaleza. El Telescopio Espacial Hubble, asomándose a los corazones de lejanos cuásares y galaxias, ha tomado fotografías espectaculares del disco giratorio que rodea a los agujeros negros situados en el corazón de galaxias como M87 y NGC4258. Se ha podido medir que la materia de este disco gira a aproximadamente un millón y medio de kilómetros por hora. Las imágenes más detalladas del Hubble muestran que hay un punto en el mismo centro del agujero negro, aproximadamente de un año luz de diámetro, que es suficientemente potente como para hacer girar una galaxia de unís de 100.000 años luz de diámetro a su alrededor. Después de años de especulación, en 2002 se demostró que hay un agujero negro escondido en nuestro propio patio trasero, la Vía Láctea, que pesa lo mismo que 2 millones de soles. Así pues, la Luna gira alrededor de la Tierra, la Tierra gira alrededor del Sol, y el Sol gira alrededor do un agujero negro.

Según el trabajo de Mitchell y Laplace en el siglo XVIII, la masa de una estrella oscura o agujero negro es proporcional a su radio. Por tanto, el radio del agujero negro del centro de nuestra galaxia es aproximadamente una décima parte del radio de la órbita de Mercurio. Es sorprendente que un objeto tan pequeño pueda afectar a la dinámica de una galaxia entera. En 2001, un grupo de astrónomos anunció que se había descubierto, usando las lentes de Einstein, un agujero negro errante moviéndose dentro de la Vía Láctea. A medida que el agujero se movía distorsionaba la luz de las estrellas a su alrededor. Siguiendo el movimiento de esta distorsión de la luz, los astrónomos pudieron calcular su trayectoria a través del espacio. (Cualquier agujero negro acercándose a la Tierra tendría consecuencias catastróficas. Se comería el sistema solar entero sin ni siquiera eructar.)

En 1963, la investigación sobre agujeros negros recibió un empujón cuando el

matemático neozelandés Roy Kerr generalizó el agujero negro de Schwarzschild para incluir agujeros negros en rotación. Dado que todo en el universo parece estar en rotación, y dado que los objetos giran con más velocidad cuando colapsan, era natural suponer que cualquier agujero negro realista estaría rotando a un ritmo fantástico. Para sorpresa de todos, Kerr encontró una solución exacta de las ecuaciones de Einstein en las que una estrella colapsaba en un anillo giratorio. La gravedad intentaría colapsar el anillo, pero los efectos centrífugos serían suficientemente fuertes como para oponerse a la gravedad y el anillo giratorio sería estable. Lo que más desconcertó a los relativistas fue que, en esta configuración, si caías a través del anillo, no morirías aplastado. La gravedad era grande pero finita en el centro, de manera que en principio se podía viajar a otro universo directamente a través del anillo. Un viaje a través del puente Einstein-Rosen no sería necesariamente mortal. Si el anillo fuera suficientemente grande, se podría entrar en el universo paralelo de manera segura.

Los físicos empezaron a investigar de inmediato qué pasaría si uno cayera en un agujero negro de Kerr. Un encuentro con dicho agujero negro sería sin duda una experiencia inolvidable. En principio, nos podría dar un atajo a las estrellas, transportándonos instantáneamente a otra parte de la galaxia, o tal vez a un universo completamente distinto. A medida que uno se acercara al agujero negro de Kerr, pasaría a través del horizonte de sucesos de manera que jamás podría volver al lugar de donde partió (a menos que hubiera otro agujero negro de Kerr que conectara el universo paralelo de vuelta a nuestro universo, haciendo posible el viaje de ida y vuelta). Además, había problemas con la estabilidad. Se podía demostrar que si uno cayera a través de un puente Einstein-Rosen, las distorsiones del espacio-tiempo que crearía podrían forzar al agujero negro a cerrarse, haciendo imposible el viaje completo a través del puente. A pesar de lo extraño de la idea de Kerr, planteando la posibilidad de una puerta de enlace o portal entre dos universos, ésta no podía ser descartada bajo pretextos físicos porque los agujeros negros en realidad rotaban muy rápidamente. Sin embargo, apronto se hizo obvio que estos agujeros negros no sólo conectaban dos puntos lejanos en el espacio,

sino que también conectaban dos tiempos, actuando como máquinas del tiempo.

Cuando Gödel descubrió la primera solución de las ecuaciones de Einstein que permitía el viaje en el tiempo, el hallazgo fue considerado una novedad, una aberración aislada de las ecuaciones. Desde entonces, sin embargo, se han descubierto multitud de otras soluciones que permiten viajar en el tiempo. Por ejemplo, se descubrió que una antigua solución, descubierta por W. J. van Stockum en 1936, también permitía viajar en el tiempo. La solución Van Stockum consistía en un cilindro infinito girando rápidamente alrededor de su eje, como el cilindro giratorio de las antiguas barberías. Si se viajara alrededor del cilindro, sería posible llegar al punto original antes de haber salido, como en la solución de Gödel de 1949. Esta solución es sorprendente, pero el problema es que el cilindro debe ser de longitud infinita. Un cilindro giratorio de longitud finita, al parecer, no funciona. Por tanto, en principio, tanto la solución de Gödel como la de Van Stockum podían ser descartadas por razones físicas.

En 1988, Kip Thorne y sus colegas de Caltech descubrieron otra solución de las ecuaciones de Einstein que permite el viaje en el tiempo a través de un agujero de gusano. Fueron capaces de resolver el problema del viaje en un solo sentido a través del horizonte de sucesos demostrando que un nuevo tipo de agujero de gusano era completamente invertible. De hecho, habían calculado que un viaje a través de tal máquina del tiempo sería tan agradable como un viaje en avión.

La clave de todas estas máquinas del tiempo es la materia o energía que deforma el espacio-tiempo sobre sí mismo. Para curvar el tiempo en un pretzel, es necesaria una cantidad enorme de energía, muy por encima de todo lo conocido por la ciencia moderna. Para la máquina del tiempo de Thorne se necesita materia negativa o energía negativa. Nadie ha visto jamás materia negativa. Quien ha buscado dicha materia no ha obtenido resultados. Si alguna existió sobre la Tierra hace miles de millones de años, habría caído hacia el espacio exterior y se habría perdido para siempre.

La energía negativa, sin embargo, existe en la forma del efecto Casimir. Si tomamos dos placas metálicas paralelas neutras, sabemos que están descargadas y por tanto no se atraen ni se repelen mutuamente. Deberían permanecer en reposo. Sin embargo, en 1948 Henrik Casimir demostró un curioso efecto cuántico, demostrando que las dos placas en realidad se atraen con una fuerza pequeña pero real, que ha sido medida experimentalmente.

Una máquina del tiempo de Thorne se puede construir así: se toman dos parejas de placas paralelas metálicas. Gracias al efecto Casimir, la región entre cada pareja de placas tendrá energía negativa. Según la teoría de Einstein, la presencia de la energía negativa abrirá minúsculos agujeros o burbujas en el espacio-tiempo (menores que una partícula subatómica) dentro de esta región. Ahora supongamos, como hipótesis de trabajo, que una civilización avanzada muy por delante de la nuestra puede manipular estos agujeros, agarrar uno de cada pareja de placas y ensancharlo hasta que un largo tubo o agujero de gusano conecte las dos parejas de placas. (Unir las dos parejas de placas con un agujero de gusano está mucho más allá de lo posible con la tecnología actual.) Ahora coloquemos una de las parejas de placas sobre un cohete que viaje a una velocidad cercana a la de la luz, de manera que el tiempo se ralentice sobre la nave. Como dijimos antes, los relojes del cohete avanzarán más lentamente que los de la Tierra. Si saltamos dentro del agujero de dentro de la-pareja de placas de la Tierra, nos veremos absorbidos a través del agujero de gusano que conecta las dos parejas de placas y nos encontraremos en el cohete atrás en el tiempo, en un punto diferente del espacio y el tiempo.

Desde entonces, el campo de las máquinas del tiempo (o con más propiedad "curvas cerradas de tiempo") se ha convertido en un área muy animada de la física, con multitud de artículos publicados con diferentes diseños, todos ellos basados en la teoría de Einstein. No a todos los físicos les ha gustado la idea de viajar en el tiempo. A Hawking, por ejemplo, no le agradaba nada la idea. Dijo, irónicamente, que si fuera

posible viajar en el tiempo, nos veríamos inundados por turistas del futuro a los que no podríamos ver. Si las máquinas del tiempo hieran una cosa cotidiana, entonces la historia sería imposible de escribir, cambiando cada vez que alguien girara el dial de su máquina. Hawking ha declarado que quiere hacer el mundo más seguro para los historiadores. Sin embargo, el libro de T. H. White *The Once and Future King,* presenta una sociedad de hormigas que obedece al principio de "todo lo que no está prohibido es obligatorio". Los físicos se toman esta ley muy a pecho, así que Hawking tuvo que formular la "conjetura de la protección cronológica", que prohíbe las máquinas del tiempo por ley. (Desde entonces, Hawking se ha rendido en su intento de demostrar esta conjetura. Ahora mantiene que las máquinas del tiempo, a pesar de ser teóricamente posibles, no son prácticas).

Estas máquinas del tiempo aparentemente obedecen a las leyes de la física, tal como las conocemos en la actualidad. El truco, por supuesto, consiste en acceder a estas tremendas energías (disponibles tan sólo en "civilizaciones suficientemente avanzadas") y demostrar que estos agujeros de gusano son en realidad estables contra las correcciones cuánticas y no explotan ni se cierran tan pronto como se entra en ellos.

También cabe señalar que las paradojas temporales (como asesinar a los propios padres antes de nacer) pueden ser resueltas por las máquinas del tiempo. Dado que la teoría de Einstein está basada en superficies suaves y curvas de Riemann, no desaparecemos cuando entramos en el pasado y creamos una paradoja temporal. Hay dos posibles soluciones de las paradojas temporales. En primer lugar, si el río del tiempo puede tener remolinos, entonces tal vez sencillamente cumplimos el pasado al entrar en la máquina del tiempo. Esto quiere decir que podemos viajar en el tiempo, pero no podemos cambiar el pasado, tan sólo completarlo. Estábamos predestinados a entrar en la máquina del tiempo. Esta visión es la que mantiene el cosmólogo ruso Igor Novikov, quien dice, "No podemos enviar un viajero al Jardín del Edén y que le pida a Eva que no coja la manzana del árbol". En segundo lugar, el propio río del tiempo puede dividirse en

dos ríos; es decir, se puede abrir un universo paralelo. De este modo, si disparas a tus propios padres antes de nacer, tan sólo has asesinado a gente que es genéticamente idéntica a tus padres pero que en realidad no son tus padres en absoluto. Tus propios padres te dieron a luz e hicieron posible tu cuerpo. Lo que ha pasado es que has saltado entre nuestro universo y otro universo, de manera que todas las paradojas temporales pueden ser resueltas.

Pero la teoría más apreciada por Einstein era su teoría unificada de campos. Einstein dijo a Helen Dukas que tal vez al cabo de cien años los físicos entenderían lo que estaba haciendo. Estaba equivocado. En menos de cincuenta años, el interés por la teoría unificada de campos ha resurgido. La búsqueda de la unificación, antaño despreciada por los físicos por considerarse imposible, tal vez esté ahora sorprendentemente cerca de nosotros. Domina la agenda de casi cada encuentro de físicos teóricos.

Después de más de dos mil años de investigación sobre las propiedades de la materia, desde que Demócrito y sus compañeros griegos se preguntaran de qué estaba hecho el universo, la física ha producido dos posibles teorías que son del todo incompatibles. La primera es la teoría cuántica, que no tiene igual a la hora de describir el mundo de los átomos y las partículas subatómicas. La segunda es la relatividad general de Einstein, que nos ha dado sorprendentes teorías sobre los agujeros negros y la expansión del universo. La gran paradoja es que estas dos teorías son completamente opuestas. Se basan en supuestos diferentes, matemáticas diferentes e imágenes físicas diferentes. La teoría cuántica está basada en paquetes discretos de energía, llamados “cuantos”, y en el baile de las partículas subatómicas. La teoría de la relatividad, en cambio, está basada en superficies suaves.

En la actualidad los físicos han formulado la versión más avanzada de la física cuántica, contenida en el llamado “modelo estándar”, que puede explicar los datos

experimentales subatómicos. Es, en cierta manera, la teoría más exitosa de la Naturaleza, capaz de describir las propiedades de tres de las cuatro fuerzas fundamentales: la electromagnética y la nuclear fuerte y débil. A pesar de lo exitoso que es el modelo estándar, tiene dos problemas muy llamativos. En primer lugar, es sumamente feo, tal vez una de las teorías más feas jamás propuestas por la ciencia. La teoría sencillamente ata las fuerzas electromagnéticas, fuertes y débiles, de forma muy poco natural. Es como usar cinta adhesiva para conectar una ballena, un ratón y una jirafa, y afirmar que es el mayor logro de la Naturaleza; el resultado de millones de años de evolución. Visto de cerca, el modelo estándar consiste en una colección abigarrada y desconcertante de partículas con extraños nombres que no tienen mucho sentido, como los quarks, los bosones de Higgs, las partículas de Yang-Mills, los bosones W, los gluones y los neutrinos. De hecho, si se intenta forzar la gravedad dentro del modelo estándar, la teoría explota. Produce resultados sin sentido. Durante casi cincuenta años todos los intentos de unir la teoría cuántica y la relatividad han sido infructuosos. A pesar de todos sus defectos estéticos, esta teoría es innegablemente correcta en el campo experimental. Evidentemente, lo que se necesita es ir más allá del modelo estándar, volver a examinar el método de búsqueda de la unificación de Einstein.

Hoy, el principal candidato a convertirse en la teoría del todo, la que puede unir la teoría cuántica y la relatividad general, es algo llamado la “teoría de las supercuerdas”. De hecho, es la única opción posible porque todas las teorías rivales han sido descartadas. Como dijo el físico, Steven Weinberg, “la teoría de las supercuerdas nos ha aportado el primer candidato plausible para una teoría final”. Todos los mapas que guiaban a los antiguos navegantes apuntaban la existencia de un legendario Polo Norte, pero pasarían siglos antes de que Robert Pery lo descubriera en 1909. De manera similar, Weinberg cree que todos los descubrimientos del campo de la física de partículas apuntan hacia un “Polo Norte” del universo, es decir, hacia la teoría unificada de campos. La teoría de las supercuerdas puede absorber todas las cualidades positivas de la teoría cuántica y de la relatividad de una manera sorprendentemente fácil. La teoría de las

supercuerdas se basa en la idea de que las partículas subatómicas pueden ser vistas como notas en una cuerda vibrante. A pesar de que Einstein comparó la materia con la madera por todas sus enmarañadas propiedades y su naturaleza aparentemente caótica, la teoría de las supercuerdas reduce la materia a música. (A Einstein, que era un excelente violinista, probablemente le hubiera gustado esto).

En los años cincuenta los físicos llegaron al punto de abandonar toda esperanza de entender las partículas subatómicas, porque nuevas formas eran descubiertas de forma continua. J. Robert Oppenheimer, disgustado, exclamó: "El Premio Nobel de Física se debería otorgar al físico que no descubra una nueva partícula este año". Estas partículas subatómicas recibían tantos extraños nombres griegos que Enrico Fermi dijo que "si hubiera sabido que habría tantas partículas con nombres griegos, me habría hecho botánico en vez de físico". Pero en la teoría de las cuerdas, si se tuviera un fantástico microscopio que pudiera observar dentro del electrón, no se encontraría una partícula puntual, sino una cuerda vibrando. Cuando la supercuerda vibra con un tono o manera diferente, se convierte en una partícula diferente, como un fotón o un neutrino. De acuerdo con esta imagen, las partículas subatómicas que observamos en la Naturaleza pueden ser vistas como la octava más baja de la supercuerda. Así, el torbellino de partículas subatómicas descubiertas a lo largo de las décadas son sencillamente notas sobre esta supercuerda. Las leyes de la química, que parecen tan confusas y arbitrarias, son las melodías interpretadas en las supercuerdas. El propio universo es una sinfonía de cuerdas. Y las leyes de la física no son más que armonías de la supercuerda.

La teoría de las supercuerdas también puede incluir todo el trabajo de Einstein sobre la relatividad. A medida que la cuerda se mueve en el espacio-tiempo, obliga al espacio a su alrededor a curvarse, precisamente como predijo Einstein en 1915. De hecho, la teoría de las supercuerdas no es coherente a menos que se pueda mover en el espacio-tiempo según la relatividad general. Según el físico Edward Witten, incluso si

Einstein no hubiera descubierto jamás la teoría de la relatividad general, ésta hubiera sido descubierta después a través de la teoría de las supercuerdas. Witten dice que “la teoría de las cuerdas es extremadamente atractiva porque nos impone la gravedad. Todas las teorías coherentes de cuerdas conocidas incluyen la gravedad, de manera que mientras que la gravedad es imposible en la teoría de campos cuántica tal y como la conocemos, es obligatoria en la teoría de las supercuerdas".

Sin embargo, la teoría de las supercuerdas hace otras sorprendentes predicciones. Las cuerdas tan sólo se pueden mover en diez dimensiones (una dimensión de tiempo y nueve de espacio). De hecho, la teoría de las supercuerdas es la única que fija la dimensionalidad de su propio espacio-tiempo. Como la teoría Kaluza-Klein en 1921, puede unificar la gravedad con el electromagnetismo suponiendo que las dimensiones superiores pueden vibrar, creando fuerzas que se pueden propagar por las tres dimensiones como la luz. (Si añadimos una undécima dimensión, entonces la teoría de las supercuerdas permite la posibilidad de membranas vibrando en él hiperespacio. Esta es la “teoría M”, que puede absorber la teoría de las cuerdas y proporcionar nuevos avances en la teoría gracias a la visión proporcionada por la undécima dimensión.)

¿Qué pensaría Einstein de la teoría de las supercuerdas si siguiera vivo? El físico David Gross dijo que “Einstein estaría satisfecho con esto, si no con la realización, por lo menos con el objetivo. [...] Le habría gustado la idea de que hay un principio geométrico subyacente que desgraciadamente no comprendemos del todo". La esencia de la teoría unificada de campos de Einstein, Como vimos, era crear materia (madera) a partir de la geometría (mármol). Gross comentó sobre esto: “Construir la propia materia a partir de la geometría, en cierto sentido es lo que hace la teoría de las Cuerdas. [Es] una teoría de la gravedad en la que las partículas de la materia, así como las otras fuerzas de la Naturaleza emergen de la geometría". Es instructivo volver al trabajo de Einstein sobre la teoría unificada de campos desde el punto de vista de la-teoría de las supercuerdas. La clave del genio de Einstein reside en que fue capaz de aislar las

simetrías básicas del universo que unifican las leyes de la Naturaleza. La simetría que une el espacio y el tiempo es la transformación de Lorentz, o las rotaciones en cuatro dimensiones. La simetría detrás de la relatividad general es la covariancia, o las transformaciones arbitrarias de coordenadas en el espacio-tiempo.

Einstein falló en su tercer intento de conseguir una gran teoría unificadora, principalmente porque le faltaba la simetría que uniera la gravedad y la luz, o uniera el mármol (geometría) con la madera (materia). Einstein era perfectamente consciente de que le faltaba un principio fundamental que le guiara a través de la espesura del cálculo tensorial. “Creo que para hacer verdaderos avances se debe encontrar algún principio general de la Naturaleza”, escribió.

Pero éste es precisamente el principio que aporta la teoría de las supercuerdas. La simetría subyacente a las supercuerdas se llama “supersimetría”, una extraña y bella simetría que unifica la materia y las fuerzas. Como se ha visto más arriba, las partículas subatómicas tienen una propiedad llamada “spin”, que las hace actuar como si fueran peonzas giratorias. El electrón, el protón, el neutrón y los quarks que forman toda la materia del universo tienen spin 1/2 y se llaman “fermiones”, nombre puesto en honor a Enrico Fermi, quien exploró las propiedades de las partículas con spin de medio entero. Los cuantos de las fuerzas, sin embargo, están basados en el electromagnetismo (con spin 1) y la gravitación (con spin 2). Estos tienen spines enteros, y se llaman “bosones” (por el trabajo de Base y Einstein). El punto clave es que, en general, la materia (madera) está hecha de fermiones con spin 1/2, mientras que las fuerzas (mármol) están hechas de bosones con spin entero. *La supersimetría une los fermiones y los bosones.* Este es el aspecto clave de la supersimetría, que permite, como Einstein deseaba, la unificación de la madera y el mármol. De hecho, la supersimetría permite un nuevo tipo de geometría llamada “superespacio”, que ha sorprendido hasta a los matemáticos, y que hace posible el “supermármol”. En esta nueva visión, las antiguas dimensiones de espacio y tiempo deben ser generalizadas para incluir nuevas dimensiones fermiónicas, que nos permitan

crear la “superfuerza” a partir de la cual todas las fuerzas se originar ron en el instante de la creación.

De esta manera, algunos físicos han especulado que se debe generalizar el principio de covariancia general de Einstein para que diga que *las ecuaciones de la física deben ser supercovariantes* (es decir, mantener la misma forma bajo transformaciones supercovariantes).

La teoría de las supercuerdas nos permite reanalizar el trabajo de Einstein sobre la teoría unificada de campos, pero bajo una luz completamente nueva. Cuando examinamos las soluciones de las ecuaciones de las supercuerdas, nos encontramos con muchos de los extraños espacios en los que Einstein se adentró por primera vez en los años veinte y treinta. Como hemos visto en capítulos anteriores, trabajaba sobre generalizaciones del espacio de Riemann que hoy pueden corresponder a algunos de los espacios encontrados en la teoría de las supercuerdas. Einstein observaba estos extraños espacios, uno tras-otro, de manera agonizante (incluyendo espacios complejos, espacios con “torsión”, “espacios enrollados”, “espacios antisimétricos”, etc.), pero se perdió porque le faltaba una imagen o principio físico que le ayudara a salir del barullo matemático en el que se había metido. Aquí es donde aparece la supersimetría que actúa como un principio organizador que permite analizar muchos de estos espacios desde una perspectiva nueva.

¿Pero es realmente la supersimetría el concepto que se le escapó a Einstein durante las últimas tres décadas de su vida? La clave de la teoría unificada de campos residía en su capacidad de estar hecha de puro mármol, es decir, geometría pura. La fea “madera" que infestaba la teoría original de la relatividad debía ser absorbida por la geometría. La supersimetría puede ser la llave que nos conduzca a una teoría de puro mármol. En esta teoría, se puede introducir el llamado “superespacio”, un concepto cuyas propiedades hacen que el propio espacio se convierta en supersimétrico. En otras

palabras, es posible que *en su versión final la teoría unificada de campos esté hecha de “supermármol gracias a una nueva “supergeometría”.*

Como Einstein, los físicos de hoy creen que en el instante del Big Bang todas las simetrías del mundo estuvieron unidas; Las cuatro fuerzas que observamos en la Naturaleza (la gravedad, el electromagnetismo, y las fuerzas nucleares fuerte y débil) estuvieron unidas en una única “superfuerza" en el instante de la creación, y solamente más tarde se separaron a medida que el universo se enfriaba. La teoría unificada de campos que Einstein buscaba parecía imposible porque en la actualidad vemos las cuatro fuerzas claramente partidas en cuatro pedazos. Si pudiéramos retrasar el reloj 13,7 miles de millones de años hasta el Big Bang original, veríamos la unidad cósmica del universo en toda su gloria, tal como Einstein había imaginado.

Witten afirma que la teoría de las cuerdas dominará algún día la física de la misma manera que la teoría cuántica lo ha hecho durante el pasado medio siglo. Sin embargo, existen todavía algunos obstáculos formidables para que esta previsión se haga realidad. Los críticos de la teoría apuntan ya algunos de sus puntos débiles. En primer lugar, es imposible comprobarla directamente. Dado que la teoría de las supercuerdas es una teoría del universo, la única manera de probarla es recreando el Big Bang, es decir, crear energías en un colisionador de átomos que se aproximen al origen del universo. Para ello es necesario un colisionador del tamaño de la galaxia, lo cual es impensable, incluso para una civilización avanzada. Sin embargo, la mayor parte de las predicciones de la física se prueban de manera indirecta, con lo que hay esperanzas de que el Large Hadron Collider (LHC) que se construirá en las afueras de Ginebra, Suiza, tenga suficiente energía para probar la teoría. El LHC, cuando se ponga en marcha en un futuro próximo, acelerará protones a billones de electronvolts, un nivel de energía suficiente para partir átomos. Examinando los restos de estas fantásticas colisiones, los físicos esperan encontrar un nuevo tipo de partícula, la superpartícula o “spartícula”, que representaría una resonancia superior, u octava, de la supercuerda.

Es perfectamente posible que la materia oscura esté hecha de spartículas. Por ejemplo, el compañero del fotón, llamado “fotino”, es eléctricamente neutro, estable y tiene masa. Si el universo estuviera lleno de un gas de fotinos, no seríamos capaces de verlo, pero actuaría de manera muy similar a la materia oscura. Si un día llegamos a identificar la verdadera naturaleza de la materia oscura, puede que nos aporte una prueba indirecta de la teoría de las supercuerdas.

Otra forma de comprobar la teoría es analizar las ondas gravitacionales del Big Bang. Cuando los detectores de ondas gravitacionales USA se lancen al espacio en la próxima década, con el tiempo será posible que capten ondas gravitacionales emitidas una billonésima de segundo después del instante de la creación. Si estas ondas concuerdan con las predicciones hechas por la teoría de las supercuerdas, los datos resultantes pueden confirmar la teoría de una vez por todas.

Puede que la teoría M explique algunos de los rompecabezas del universo Kaluza-Klein. Recordemos que una de las serias objeciones al universo Kaluza-Klein era que estas dimensiones superiores no se podían observar experimentalmente, y de hecho deben ser mucho menores que un átomo (de no ser así, los átomos flotarían hacia esas dimensiones superiores). Pero la teoría M nos proporciona una posible solución a este problema si suponemos que nuestro propio universo es una membrana que flota en un hiperespacio infinito endecadimensional. Bajo este supuesto, las partículas subatómicas y los átomos están confinados en nuestra membrana (nuestro universo), pero la gravedad, al ser una distorsión del hiperespacio, puede fluir libremente entre universos.

Esta hipótesis, por extraña que parezca, puede ser comprobada. Desde Isaac Newton, los físicos saben que la gravedad es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia. En cuatro dimensiones espaciales, la gravedad debería ser inversamente proporcional al cubo de la distancia. Por tanto, midiendo las minúsculas desviaciones de

la ley del cuadrado inverso, la presencia de otros universos puede ser detectada. Recientemente se ha conjeturado que un universo paralelo a tan sólo un milímetro de distancia del nuestro sería compatible con la gravedad newtoniana y también sería detectable con el LHC. Esta conjetura, a su vez, ha creado un cierto grado de expectación entre los físicos, que se han dado cuenta de que un aspecto de la teoría de las supercuerdas puede ser puesto a prueba pronto, ya sea buscando spartículas o buscando un universo paralelo a un milímetro del nuestro.

Estos universos paralelos podrían aportar otra explicación de la materia oscura. Si hay un universo paralelo cerca, no seremos capaces de verlo o notarlo (ya que la materia está confinada a nuestra membrana-universo) pero podríamos notar su gravedad (que puede viajar entre universos). Para nosotros parecería como si el espacio invisible tuviera una especie de gravedad, muy parecida a la energía oscura. De hecho, algunos teóricos de las supercuerdas han especulado que tal vez la materia oscura pueda ser explicada como la gravedad producida por un universo paralelo.

Pero la dificultad crucial para demostrar la veracidad de la teoría de las supercuerdas no es de carácter experimental. No es realmente necesario construir gigantes colisionadores de átomos o satélites espaciales para verificar la teoría. El verdadero problema es puramente teórico: si somos suficientemente listos como para resolver completamente la teoría, deberíamos ser capaces de encontrar todas sus soluciones, que deberían incluir nuestro universo, con sus estrellas, galaxias, planetas y habitantes. Hasta el momento, nadie sobre la superficie de la Tierra ha sido capaz de solucionar estas ecuaciones. Tal vez mañana, o tal vez dentro de décadas, alguien anunciará que ha resuelto completamente la teoría. En ese momento seremos capaces de decir si es una teoría del todo, o una teoría de la nada. Dado que la teoría de las cuerdas es tan exacta, sin ningún parámetro ajustable, ninguna opción intermedia es posible.

¿Nos permitirá la teoría de las supercuerdas o la teoría M unificar las leyes de la Naturaleza en un sencillo y coherente todo como Einstein había contemplado? Es todavía demasiado pronto para saberlo, pero vale la pena recordar las palabras de Einstein: “El principio creativo reside en las matemáticas. En cierto sentido, por tanto, afirmo que, como soñaban los antiguos, la razón pura puede entender la realidad”. Tal vez algún joven lector de este libro se vea inspirado para completar la búsqueda de la unificación.

¿Cómo debemos valorar el verdadero legado de Einstein? En vez de decir que debería haberse ido de pesca después de 1925, tal vez sería más acertado decir lo siguiente: *toda la sabiduría física de nivel fundamental está contenida en dos pilares: la teoría de la relatividad general y la teoría cuántica. Einstein fue el fundador de la primera, el padrino de la segunda y pavimentó el camino para la posible unificación de ambas*.

BIBLIOGRAFÍA

Según su testamento, Einstein donó todos sus manuscritos y cartas los Archivos de Einstein a la Universidad Hebrea de Jerusalén. Se pueden encontrar copias de los documentos en la Universidad de Princeton y en la Universidad de Boston. *Las Obras Completas de Albert Einstein* (volúmenes 1 a 5), editado por John Stachel, aportan traducciones de este voluminoso material.

Barrow, John D. *The Universe That Discovered Itself.* Oxford University Press, Oxford. 2000.

Bartusiak, Marcia. *Einstein's Unfinislied Symphony.* Joseph Henry Press, Washington, D.C., 2000.

Bodanis, David. *E= me2.* Walker, Nueva York, 2000.

Brinn, Denis. *Einstein: A Life.*]ohn Wiley and Sons, Nueva York, 1996. Calaprice, Alice, ed. *The Expanded Quotable Einstein.* Princeton University Press, Princeton, 2000.

Clark, Ronald. *Einstein: The Life and Times.* World Publishing, Nueva York, 1971. Crease, R., y Mann, C. C. *Second Creation.* Macmillan, Nueva York, 1986. Cropper, William H. *Great Physicists.* Oxford University Press, Nueva York, 2001. Croswell, Ken. *The Universe at Midnight.* Free Press, Nueva York, 2001.

Davies, P. C. W. y Brown,Julián, eds. *Sujfersttings: A Theory of Everylhing?* Cambridge University Press, Nueva York, 1988.

Einstein, Albert. *Ideas and Opinions.* Random House, Nueva York, 1954. Einstein, Albert. *Relativity: TheSpecial and General Theory.* Routledge, Nueva York, 2001.

Einstein, Albert. *The World as ISeelt.* Kensington, Nueva York, 2000.

Einstein, Albert, Lorentz, H. A, Weyl, H., y Minkowski, H. *The Principle of Relatix/ily.* Dover, Nueva York, 1952.

Ferris, Timothy. *Corning of Age intheMiIJiy Way.* Anchor Books, Nueva York,

1988. Fluckiger, Max. *Albert Einstein in fíem.* Paul Haupt, Berna, 1972.

Folsing, Albrecht, *Albert Einstein.* Penguin Books, Nueva York, 1997.

Frank, Philip. *Einstein: HisUfe andHis Thoughts.* Alfred A. Knopf, Nueva York, 1949. French, A. P., ed. *Einstein: A Centenary Volume.* Harvard University Press, Cambridge, 1979.

Gell-Mann, Murray. *The Qttatlt and Thefagnm:* W. H. Freeman, San Francisco, 1994.

Goldsmith, Donald. *The Runmoay Universo.* Perseus Books, Cambridge, Mass., 2000.

Hawking, Stephen, Thome, Kip, Novikov, Igor, Ferris, Tirnothy, y lightman, Alan. *The Futuro of Spacetime.* W. W. Norton, Nueva York, 2002.

Highfíeld, Roger, y Cárter, Paul. *The Prívate Lives ofAlbert Einslein.* St. Martin's, Nueva York, 1993.

Hoffman, Banesh y Dukas, Helen. *Albert Einstein, Creator and Rebel.* Penguin, Nueva York, 1973.

Kaku, Mícliio, *Beyond Einstein.* Anchor Books, Nueva York, 1995.

Kaku, Michio. *Hyperspace.* Anchor Books, Nueva York, 1994.

Kaku, Michio, *Quantum Field Theory.* Oxford University Press, Nueva York, 1993.

Kragh, Helge. *Quantum Generations.* Princeton University Press, Princeton, 1999.

Miller, Arthur I. *Einstein, Picasso.* Perseus Books, Nueva York, 2001.

Misner, C. W., Thorne, K. S., y Wheller, J. A *Gravitation.* W. H. Freeman, San Francisco, 1973.

Moore, Walter. *Schrodinger, Life and Thought.* Cambridge University Press, Cambridge, 1989.

Overbye, Dennis. *Einstein in Lave: A Scientifec Romance.* Viking, Nueva York, 2000.

Pais, Abraham. *Einstein LivedHere:EssaysfortheLayman.* Oxford University

Press, Nueva York, 1994.

Pais, Abraham. *Inxoard Bound: Of Matter and Fortes in the Physical World.* Oxford University Press, Nueva York, 1986.

Pais, Abraham. Subtle is the Lord: The Science and the Life of Albert Einstein. Oxford University Press, Nuera York, 1982.

Parker, Barry. *Einstein's Brainchild: Relalivity Modo Relatively Easy.* Prometheus Books, Arinherst, Nuera York, 2000.

Petters, A. O., Levine, H., y Wainbganss, J. *Singularity Theory and Gravitational Lensing.* Birkhauser, Boston, 2001.

Sayen.Jamie. *Einstein in America.* Crown Books, Nuera York, 1985.

Schiipp, Paul. *Albert Einstein: Philosopher-Scientist.* Tudor, Nueva York, 1951.

Seelig, Cari, *Albert Einstein.* Staples Press, Londres, 1956.

Silk.Joseph. *The BigBang.* W. H. Freeman, San Francisco, 2001.

StachelJohn, ed. *The Collected Papers of Albert Einstein,* volúmenes 1 y2. Princeton University Press, Princeton, 1989.

Stachel, John, ed. *Einstein’s Mhaculous Yea¡:* Princeton University Press, Princeton, 1998.

Sugimoto, Kenji. *Albert Einstein: A Photogiaphic Biography.* Schocken Books, Nuera York, 1989.

Thorne, Kip S. Black Holes and Time Warps: Einstein’s Outrageous Legacy. W. W. Norton, Nueva York, 1994.

Trefil, James S. *The Moment of Creation.* Collier Books, Nueva York, 1983.

Weinberg, Steven. *Dreams of a Final Theory.* Pantheon Books, Nueva York, 1992.

Zackheim, Michele. *Einstein’s Danghter.* Rivcrhead Books, Nueva York, 1999.

Zee, A. Einstein's Universo: Gravity at Work andPlay. Oxford University Press.

«*El universo de Einstein* nos ofrece un recorrido nuevo y muy visual a través del asombroso legado de Einstein. Tratando no sólo la historia del descubrimiento de la relatividad, sino también otros avances teóricos y experimentales recientes encontrados en muy pocos libros de divulgación, Kaku revela la visión de Einstein —su ciencia, su pensamiento político y su personalidad— con prosa magistral y convincente claridad». —Brian Greene, físico y autor de *El universo elegante: supercuerdas, dimensiones ocultas y la búsqueda de una teoría definitiva.*

«Muchas versiones de la vida de Albert Einstein tratan su ciencia como algo subsidiario a su vida personal y política. Pero en *El universo de Einstein* de Michio Kaku, Einstein es un físico. Puro y simple. Así pues, por una vez, usted puede recostarse, quitarse los zapatos y deleitarse con los descubrimientos hechos por la mente más creativa del siglo XX . Unos descubrimientos que cambiaron el mundo». —Neil deGrasse Tyson, astrofísico y director del Hayden Planetarium.

«Gracias a Michio Kaku no hay que ser un Einstein para entender a Einstein. *El universo de Einstein* entrelaza la vida y la ciencia de Einstein de la manera en que el propio Einstein relacionó el tiempo y el espacio». —Ken Croswell, astrónomo y autor de *Magnificent Universe* y *Magnificent Mars.*

ISBN 84-95348-17-9



www.antonibosch.com

